

УДК: 004

DOI 10.21661/r-116428

*R.A. Ильин, И.Р. Гагиев*

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ТЕРМИЧЕСКИХ ДЕАЭРАТОРОВ НА АСТРАХАНСКОЙ ТЭЦ-2**

*Аннотация:* в работе рассмотрен вариант модернизации деаэрационной колонны деаэратора В-Д 400, установленного на Астраханской ТЭЦ-2 путем внедрения насадочного элемента, выполнен расчетный анализ необходимой высоты слоя насадки. Сделаны выводы и разработаны рекомендации для подобных вариантов модернизации деаэраторов.

*Ключевые слова:* термический деаэратор, модернизация, насадочная колонна, насадка.

*R.A. Ilin, I.R. Gagiev*

## **IMPROVING THE EFFECTIVENESS OF THERMAL DEAERATOR OF THE ASTRAKHAN THERMAL POWER STATION-2**

*Abstract:* the article describes the type of modernization of deaerator column of V-D 400 deaerator installed on the Astrakhan thermal power station-2 through implementation of placing unit, it has also made a design analysis of a desired height of nozzle layer. The authors have made some conclusions and developed recommendations for these types of deaerator modernization.

*Keywords:* thermal deaerator, modernization, packed column, nozzle.

Борьба с коррозией – одна из важнейших технологических и экономических задач. Основным профилактическим мероприятием, предотвращающим коррозию энергетического оборудования и трубопроводов, является деаэрация, завершающая стадия комплексного технологического процесса водоподготовки, предназначенная для удаления из питательной воды котлов растворенных коррозионно-активных газов. Термическая деаэрация является и, должно

быть, еще долгое время будет одним из основных средств обеспечения надежности систем теплоснабжения и их теплоисточников [2, с. 63.].

На крупных теплоисточниках – ТЭЦ и котельных с большой тепловой мощностью наиболее часто используют струйно-барботажные деаэраторы горизонтального типа производительностью 400 и 800 м<sup>3</sup>/ч конструкции ЦКТИ (рис. 1).

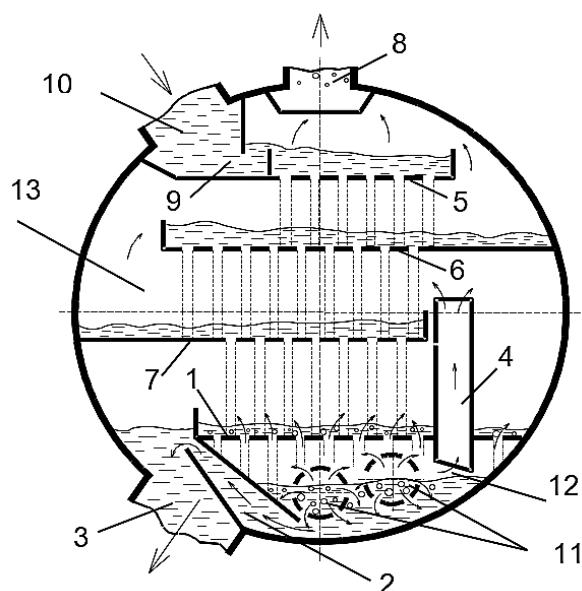


Рис. 1. Струйно-барботажный вакуумный деаэратор горизонтального типа:

1 – барботажный лист; 2 – канал для прохода неиспарившейся перегретой воды; 3 – отвод деаэрированной воды; 4 – пароперепускной короб; 5, 6, 7 – тарелки соответственно первая, вторая и третья; 8 – отвод выпара; 9 – распределительный коллектор; 10 – подвод исходной воды; 11 – подвод греющего агента; 12 – испарительный отсек; 13 – деаэрационный отсек

При эксплуатации термических деаэраторов возникают различные проблемы, заключающиеся в следующем:

1. При нагрузках деаэратора превышающих 50% (по общему потоку воды) наблюдается снижение качества деаэрации.
2. Снижается качество деаэрированной воды при переменных нагрузках.
3. Большой расход пара на процесс деаэрации, снижающий экономичность работы всей станции.

Для решения этих проблем в работе рассматривается следующий вариант-модернизация деаэраторов с использованием контактных устройств с более эффективными тепло-массообменными свойствами, а именно предлагается замена устаревших барботажных тарелок на современные виды насадок [1, с. 492.].

Исходя из технических характеристик различных видов насадок, была выбрана насадка «Инжехим» в качестве альтернативы барботажным тарелкам.

Задачей модернизации колонн является выбор типа насадки, ее геометрических размеров и высоты слоя (количество секций) в аппарате при заданном качестве разделения и производительности.

В основе технологического расчета насадочного аппарата при выполнении проектного и проверочного расчетов лежат условия термодинамического равновесия, уравнения материального баланса, уравнения массопередачи, а также однопараметрическая диффузационная модель [3, с. 50.].

Необходимо определить диаметр аппарата, высоту слоя насадки и расход газового поглотителя при заданной конструкции и размерах насадочных элементов. Окончательный выбор насадки выполняется после техникоэкономического анализа.

Предлагается следующая схема модернизации деаэратора (рис. 2).

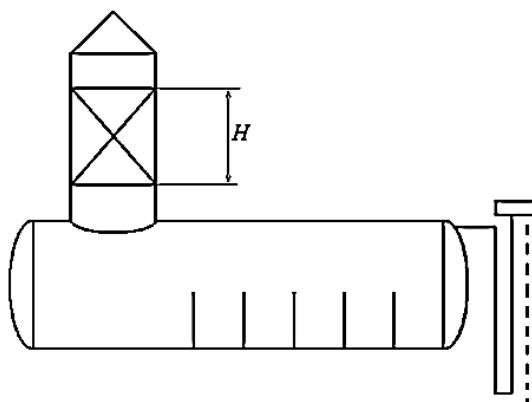


Рис. 2. Схема модернизации деаэратора (вид сбоку).

$H$  – высота слоя насадки

Расчет высоты насадочного слоя будем проводить для деаэратора ДВ-400, обусловлено это тем, что данный вид деаэратора один из наиболее часто эксплуатируемых на ТЭЦ.

Степень извлечения (или отгонки) процесса деаэрации определяется:

$$\varphi = X_H - X_K / X_H * 100\% = ((100-20)/100) * 100\% = 80\%,$$

где  $X_H$  и  $X_K$  принимаются в соответствии с начальной и конечной концентрацией  $O_2$  входе и выходе из термического деаэратора.

Количество переданной массы  $M$ , кг/с, компонента из жидкой фазы в газовую равна:

$$M = (X_K - X_H) * (100 - 20) = 5,33 \text{ кг/с},$$

где  $L$  – массовый расход жидкой смеси на входе, кг/с принимается в соответствии с техническими характеристиками деаэратора.

Расход газового поглотителя  $G$ , кг/с согласно известным рекомендациям принимается равным

$$G = p_g / p_{ж} * 40L = 0,597 / 995,7 * 40 * 66 = 1,6 \text{ кг/с},$$

где  $p_g$  – плотность газа, кг/м<sup>3</sup>,  $p_{ж}$  – плотность жидкости, кг/м<sup>3</sup>, принятые в соответствии с температурой воды и пара при входе в деаэратор.

Коэффициент распределения (константа фазового равновесия) при постоянной температуре и давлении определяется по соотношению:

$$m = E / P = 1,7 / 1,033 = 1,65,$$

где  $E$  – константа Генри, зависящая от температуры и от природы газа и жидкости.  $P$  – общее давление смеси газов или паров равное сумме парциальных давлений всех компонентов.

Составы газа и жидкости выражены в относительных массовых концентрациях, поэтому коэффициент распределения умножается на поправочный множитель.

$$\dot{m} = m = 1,65.$$

Из уравнения материального баланса определяется значение  $Y_k$ , мкг/кг:

$$Y_k = M / G + Y_h = 5,33 / 1,6 + 3 = 6,33 \text{ мкг/кг}.$$

Рабочая (фиктивная) скорость газа, м/с:

$$W = bW_3 = 2,95 * 0,8 = 2,38,$$

где  $b = 0,8$ ;  $W_3 = 2,95$ .

Диаметр колонны принимаем равным 1,2 метра в соответствии с ГОСТом 21944–76.

Нормальный ряд диаметров колонн указан в таблице 1.

Таблица 1

Нормальный ряд диаметров колонн в промышленности

$D_{\text{гост, м}}$	0,4	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,2	2,6
----------------------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Далее производим расчет движущей силы массопередачи и числа единиц переноса.

Первоначально рассчитывается движущие силы массопередачи внизу деаэратора:

$$\Delta Y_{\text{H}} = Y_{\text{H}}^* - Y_{\text{H}} = 33 - 3 = 30 \text{ мкг/кг.}$$

Затем вверху деаэратора

$$\Delta Y_{\text{K}} = Y_{\text{K}}^* - Y_{\text{K}} = 165 - 6,33 = 158,67 \text{ мкг/кг,}$$

где  $Y_{\text{K}}^* = \dot{m}X_{\text{H}} -$  равновесная с жидкостью состава  $X_{\text{H}}$  концентрация компонента в газе, кг/кг;  $Y_{\text{H}}^* = \dot{m}X_{\text{K}} -$  равновесная концентрация компонента в газовой фазе на входе в аппарат, кг/кг.

Число единиц переноса  $n_{\text{ор}}$  равно:

$$n_{\text{ор}} = (Y_{\text{K}} - Y_{\text{H}}) / \Delta Y_{\text{ср}} = (6,33 - 3) / 77 = 0,038.$$

Далее производим расчет коэффициента массопередачи.

Коэффициенты массоотдачи в газовой и жидкой фазах можно определить по теоретическим или эмпирическим зависимостям. Критериальное выражение Онда для расчета коэффициента массоотдачи в газовой фазе ( $\beta_{\text{Г}}$  в орошаемых колоннах с нерегулярными насадками имеет вид).

$$\begin{aligned} Nu_{\text{Г}} &= A * \varepsilon_{\text{CB}}^P * Re_{\text{Г}}^{0,8} Ga_{\text{Г}}^k Sc_{\text{Г}}^{1/3} = 0,0142 * 0,96^{0,52} * 4,37^{0,8} * 1710^{0,16} * 69^{1/3} \\ &= 0,61. \end{aligned}$$

Постоянные  $A$ ,  $p$ ,  $k$  для колец в навал имеют значения  $A = 0,0142$ ,  $p = 0,52$ ,  $k = 0,22$ .

Критерий Рейнольдса:

$$Re_{\text{Г}} = 4W\rho_{\text{Г}}/a_{\nu}\mu_{\text{Г}} = (4 * 2,38 * 0,597) / (104 * 0,0000125) = 4,37,$$

где  $\rho_g$  – плотность газа, кг/м<sup>3</sup>;  $\mu_g$  – динамический коэффициент вязкости газа, мПа\*с.

Критерий Галилея в газовой фазе:

$$Ga_g = d_3^3 g / \nu_g^2 = 0,0372^3 * 9,8 / 0,295 * 10^{-6} = 1710,$$

где  $\nu_g$  – коэффициент кинематической вязкости газовой фазы, м<sup>2</sup>/с.

$$d_3 = 4 * \varepsilon_{cb} / a_v = 4 * 0,96 / 103 = 0,0372 \text{ м.}$$

Критерий Шмидта в газовой фазе:

$$Sc_g = \mu_g / D_g \rho_g = 1,3 / (0,0315 * 0,598) = 69,$$

где  $\mu_g$  – динамический коэффициент вязкости газа, Па\*с.

Далее производим расчёт коэффициента массоотдачи:

$$\beta_g = Nu_g D_g / d_3 = (0,61 * 0,0315) / 0,0372 = 0,038 \text{ м/с.}$$

Для нахождения коэффициента массоотдачи в жидкой фазе используется следующее выражение, которое дает для насадочных колонн с нерегулярными кольцевыми насадками удовлетворительные результаты по массоотдаче в жидкой фазе при ламинарном безволновом пленочном течении:

$$\beta_{ж} = A \sqrt{q a_v \psi_m D_{ж} / \pi \varepsilon_{cb} \varepsilon_{жд}},$$

$$\beta_{ж} = \sqrt{(0,051 * 103 * 1,61 * 0,000027) / (3,14 * 0,96 * 18,96)} = 0,00019 \text{ м/с,}$$

где  $\psi_m$  – коэффициент смачиваемости поверхности насадки;  $\pi = 3,1415$ ;  $q = L / (S_k p_{ж})$  – плотность орошения, м<sup>3</sup>(м<sup>2</sup>\*с);  $A = 0,93$ . Для насадок «Инжехим-2000»  $A = 1,53$ , где- $\varepsilon_{жд}$  удельный объем деаэрированной воды м<sup>3</sup>/кг,  $\varepsilon_{жд} = 18,96$ .

Коэффициент диффузии O<sub>2</sub> в жидкости:

$$D_{ж} = 1 * 10^{-6} / AB \sqrt{\mu_{ж}} \left( V_A^{1/3} - V_B^{1/3} \right)^2 \sqrt{1/M_A + 1/M_B},$$

$$D_{ж} = 1 * 10^{-6} / 1,53 \sqrt{0,8225} \left( 30000^{1/3} * 22000^{1/3} \right)^2 \sqrt{1/18,02 + 1/32},$$

$$D_{ж} = 2,7 * 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с.}$$

Коэффициент смачиваемости поверхности насадки:

$$\psi_m = 1 - \exp(-0,16 Re_{ж}^{0,4}) = 1 - \exp(-0,16 * 2,38^{0,4}) = 1,61.$$

Критерий Рейнольдса для жидкости:

$$Re_{ж} = 4 q \rho_{ж} / a_v \mu_{ж} = (4 * 0,051 * 995) / (103 * 0,8285) = 2,38.$$

При известных значениях  $\beta_{\Gamma}$  и  $\beta_{\infty}$  вычисляется коэффициент массопередачи:  
 $K_{\text{ог}} = 1/(1/\beta_{\Gamma}) + \bar{m}(\rho_{\Gamma}/\rho_{\infty})/\beta_{\infty} = 1/(1/0,038 + (1,65(0,597/995))/0,00019),$   
 $K_{\text{ог}} = 8,6 * 10^{-5} \text{ м/с.}$

При известном значении  $K_{\text{ог}}$  высота единиц переноса  $h_{\text{ог}}$  вычисляется по выражению:

$$h_{\text{ог}} = G/\rho_{\Gamma} K_{\text{ог}} S_k a_v \psi_a = 1,6/(0,597 * 0,031 * 1,13 * 103 * 113) = 44,$$

где  $\psi_a = 113$ .

Высота слоя насадки определяется по формуле:

$$H = h_{\text{ог}} * n_{\text{ог}} = 44 * 0,038 = 1,57 \text{ м.}$$

Расчет слоя насадки показал что теоретически необходимая высота составляет 1,57 метров.

Используемые в деаэраторах насадки уменьшают поверхностное натяжение воды, а также способствуют ее дроблению, что в свою очередь уменьшает путь прохождения газа в воде и ускоряет его выход из нее благодаря увеличению поверхности контакта воды с паром.

Благодаря своим геометрическим формам, насадки способствуют турбулизации потока, и как следствие повышают эффективность процесса деаэрации.

Примером модернизации деаэратора с использованием насадочной колонны может служить Казанская ТЭЦ-3.

Деаэратор ДСА-300 установленный на Казанской ТЭЦ-3 не всегда обеспечивал требуемое содержание кислорода  $O_2$  на выходе.

В результате проведенной модернизации улучшилась стабильность работы деаэратора ДСА-300 при максимально возможных нагрузках, а также при различных режимах эксплуатации [4, с. 55.].

Таким образом, можно сделать вывод о том, что использование насадочных колонн, при правильном подходе расчета процесса деаэрации, а также при наложенном процессе эксплуатации, ведет к повышению эффективности термической деаэрации.

### **Список литературы**

1. Долгов А.Н. Расчет теплообменной эффективности насадочных колонн по диффузионной модели / МЭИ. – М., 2011. – Т. 2 – С. 492–493.
  2. Ильин Р.А. Эксергетическая эффективность котельных / Р.А. Ильин, С.Е. Куртынов // Наука и образование – 2014: Материалы международн. научно-техн. конф. – Мурманск: ФГБОУ ВПО «Мурманский государственный технический университет», 2014. – С. 62–66.
  3. Лаптев А.Г. Диффузионная модель дегазации в насадочных колоннах. – Иваново, 2011. – С. 48–51.
  4. Силов И.Ю. Определение эффективности насадочных термических. – Нижнекамск, 2011. – С. 55–56.
- 

**Ильин Роман Альбертович** – канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой «Теплоэнергетика» ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет», Россия, Астрахань.

**Ilin Roman Albertovich** – candidate of technical sciences, associate professor, head of “Heat Power Engineering” Department FSBEI of HE “Astrakhan State Technical University”, Russia, Astrakhan.

**Гагиев Иssa Русланбекович** – магистрант ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет», Россия, Астрахань.

**Gagiev Issa Ruslanbekovich** – graduate student FSBEI of HE “Astrakhan State Technical University”, Russia, Astrakhan.

---