

ВОДОПОДГОТОВКА И ВОДНО-ХИМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕСОРБЦИИ КОРРОЗИОННО-АКТИВНЫХ ГАЗОВ В КОЛОННАХ С ХАОТИЧНЫМИ И РЕГУЛЯРНЫМИ НАСАДКАМИ¹

© 2021 г. Е. А. Лаптева^{а, *}, М. И. Фарахов^б

^аКазанский государственный энергетический университет, Красносельская ул., д. 51, г. Казань, 420066 Россия

^бООО «Инженерно-внедренческий центр «Инжехим», ул. Шаяпина, д. 14/83, г. Казань, 420032 Россия

*e-mail: grivka100@mail.ru

Поступила в редакцию 01.04.2020 г.

После доработки 01.06.2020 г.

Принята к публикации 20.06.2020 г.

Рассмотрен процесс удаления на ТЭС коррозионно-активных газов из воды в насадочных колоннах декарбонизаторов и в колонках термических деаэраторов с баком-аккумулятором при пленочном режиме и представлена математическая модель для расчета эффективности процесса десорбции. Используются ячеечная модель структуры потоков и уравнение для расчета коэффициента массоотдачи при волновом течении пленки воды по поверхности насадки с искусственной шероховатостью. Получено значение требуемой высоты слоя насадки при заданных плотности орошения водой и эффективности извлечения из воды растворенных в ней газов. Приведены формулы для расчета параметров математической модели – коэффициента массоотдачи в волновой пленке, средней скорости воды в пленке, динамической задержки жидкости в слое насадки и числа ячеек полного перемешивания жидкой фазы. Рассмотрена возможность применения металлических хаотичных и регулярных насадок, представлены результаты расчетов эффективности массопередачи и требуемой высоты слоя насадок при различных режимных параметрах процесса десорбции. Приведены графики требуемой высоты слоя для заданных эффективности массопередачи и мощности, затрачиваемой на подачу воздуха в десорбер, при применении различных насадок отечественного и зарубежного производства. Описана работа термического деаэратора с баком-аккумулятором и устаревшими контактными устройствами в деаэраторной колонке на ТЭС. Приведены основные массообменные и гидравлические характеристики современных насадок для термических деаэраторов. Разработаны технические решения, которые можно применять при выборе высокоэффективной металлической хаотичной насадки с шероховатой поверхностью, обеспечивающей повышение коэффициента массоотдачи в жидкой волновой пленке и, соответственно, эффективности массоотдачи. Показан вариант модернизации деаэрационной колонки деаэратора ДСА-300 на Казанской ТЭЦ-3 путем замены устаревших контактных устройств на современную хаотичную насадку. В результате ее применения обеспечивается соблюдение норм очистки воды от растворенного кислорода при различных нагрузках по воде и пару.

Ключевые слова: тепловые электрические станции, десорбция, насадка, эффективность, модернизация, растворенные газы, массоотдача, ячеечная модель, структура потока

DOI: 10.1134/S004036362101015X

За последние 15–20 лет появилось огромное количество устройств газожидкостного контакта, и выбрать среди них устройство, предназначенное для конкретных условий организации тепло- и массообменных процессов в колонных аппаратах, бывает затруднительно. Это связано с полуэмпирическим характером математических моделей и сложностью численных исследований. В данной статье на основе применения ячеечной модели структуры потока в жидкой фазе и теоретических выражений для определения коэффи-

циентов массоотдачи в волновой пленке представлены порядок и результаты расчетов насадочных десорберов для ТЭС.

Аппараты, в которых осуществляется удаление из воды растворенных в ней кислорода (O_2) и диоксида углерода (CO_2), называются термически деаэраторами и декарбонизаторами. Декарбонизаторы в основном применяются с контактными устройствами в виде насадок, а деаэраторы бывают струйно-барботажные, вихревые и пр. Анализ литературных источников и данных о работе десорберов на ТЭС показывает, что наибольшие проблемы при эксплуатации термических де-

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 18-79-101-36).

аэраторов связаны с тем, что на выходе из аппарата концентрация растворенного O_2 в 2–3 раза превышает нормативное значение [1–3].

Методы математического моделирования тепло- и массообменных процессов условно подразделяют на точные, асимптотические, численные и приближенные. Для моделирования тепло- и массообмена в промышленных аппаратах, а также при проведении химической водоподготовки на ТЭС чаще используются численные и приближенные методы, которые имеют как определенные преимущества, так и недостатки. Несмотря на появление большого количества пакетов прикладных программ численных методов расчета, они не всегда обеспечивают получение достоверных результатов при исследовании явлений переноса в двухфазных средах в аппаратах с разнообразными контактными устройствами, особенно с хаотичными структурами. Поэтому для инженерных расчетов промышленных аппаратов наиболее подходят приближенные методы, которые позволяют получать в явном виде зависимости тепло-массообменных характеристик от режимных и конструктивных параметров.

Расчеты десорберов для водоподготовки обычно выполняют на основе применения уравнений массопередачи и материального баланса (идеальное вытеснение потоков) с эмпирическими коэффициентами массоотдачи. Также для расчета насадочных и барботажных десорберов используют модели структуры потоков: диффузионную, ячеичную и комбинированные [4–6] – или проводят численное решение дифференциального уравнения массопереноса с объемным межфазным источником [7].

Цель данной работы – в рамках единого подхода получить расчетные выражения эффективности массообмена в насадочных деаэраторах и декарбонизаторах.

МОДЕЛЬ РАСЧЕТА ЭФФЕКТИВНОСТИ

Поскольку при удалении коррозионно-активных газов преобладает сопротивление массопередаче в жидкой фазе, то с достаточной для практических целей точностью можно использовать ячеичную модель для жидкой фазы, т.е. известное выражение для определения эффективности массопередачи:

$$E_{\text{ж}} = \frac{c_{\text{н}} - c_{\text{к}}}{c_{\text{н}} - c^*} = 1 - \left(1 + \frac{N_{\text{о.ж}}}{n}\right)^{-n}, \quad (1)$$

где $E_{\text{ж}}$ – эффективность массопередачи в жидкой фазе; $c_{\text{н}}$, $c_{\text{к}}$, c^* – начальная, конечная и равновесная концентрация извлекаемого компонента; $N_{\text{о.ж}}$ – общее число единиц переноса; n – условное число ячеек полного перемешивания.

Общее число единиц переноса находят по формуле аддитивности

$$\frac{1}{N_{\text{о.ж}}} = \frac{1}{N_{\text{ж}}} + \frac{L/G}{N_{\text{г}}m},$$

где $N_{\text{ж}}$, $N_{\text{г}}$ – частные числа единиц переноса в жидкой и газовой фазах; L , G – массовый расход воды и газа (воздуха или пара) соответственно, кг/с; m – коэффициент равновесия (распределения).

Известно, что для процессов массопередачи с труднорастворимыми газами в воде выполняется неравенство

$$\frac{1}{N_{\text{ж}}} \gg \frac{L/G}{N_{\text{г}}m},$$

т.е. практически все сопротивление массообмену сосредоточено в жидкой фазе. Причем расход подаваемого воздуха при десорбции CO_2 из воды согласно известным рекомендациям [2] принимается $G \approx 40\rho_{\text{г}}L/\rho_{\text{ж}}$, а расход пара при деаэрации определяется тепловым балансом деаэратора при заданном сравнительно малом расходе выпара и составляет примерно $L/30$ кг/с (здесь $\rho_{\text{г}}$ и $\rho_{\text{ж}}$ – плотность воздуха и жидкости соответственно, кг/м³).

Далее на основе приведенного выражения (1) проводится расчет насадочных десорберов.

Число единиц переноса $N_{\text{ж}}$ для насадочного слоя можно записать в виде

$$N_{\text{ж}} = \frac{\beta_{\text{ж}}a_vSH\Psi_w}{V_{\text{ж}}} = \frac{\beta_{\text{ж}}a_vH\Psi_w}{q}, \quad (2)$$

где $\beta_{\text{ж}}$ – коэффициент массоотдачи в жидкой фазе, м/с; a_v – удельная поверхность насадки, м²/м³; S – площадь поперечного сечения насадочной колонны, м²; H – высота слоя насадки, м (соответственно SH – объем насадки, м³); Ψ_w – коэффициент смачиваемости поверхности насадки; $V_{\text{ж}}$ – объемный расход жидкости, м³/с; $q = V_{\text{ж}}/S$ – плотность орошения, м³/(м² · с); $F = a_vSH\Psi_w$ – площадь межфазного контакта газа и жидкости на поверхности насадки, м².

При моделировании массоотдачи в хаотичной насадке можно принять известное допущение о том, что при перетекании жидкости с одного насадочного элемента на другой в жидкой пленке происходит полное перемешивание в седловинах волн. Согласно исследованиям Дэвидсона, пленочное течение в хаотичных насадках соответствует пленочному течению по вертикальным поверхностям с поправочным коэффициентом $k \approx \pi/2$ при эквивалентном критерии Рейнольдса

$$Re_{\text{экр}} = (\pi/2) Re_{\text{пл}},$$

где $Re_{\text{пл}}$ – число Рейнольдса для пленки, стекающей по вертикальной стенке.

Тогда коэффициент массоотдачи при полном перемешивании жидкости в седловинах волн на каждом элементе и линейном распределении скорости для насадок с шероховатой поверхностью можно найти по выражению [8]

$$\beta_{ж} = 2 \left[1 + 1.25 (\delta_{пл} \alpha b)^2 \right] \sqrt{\frac{k D_{ж} u_{ср}}{\lambda}}, \quad (3)$$

где $\delta_{пл}$ – средняя толщина пленки, м; α – амплитуда волны пленки; $b = 2\pi\delta_{пл}/\lambda$; λ – длина волны, м; $k \approx \pi/2$; $D_{ж}$ – коэффициент диффузии компонента, м²/с; $u_{ср}$ – средняя скорость течения воды в пленке, м/с. Для волновой пленки $\alpha \approx 0.9$.

Среднюю скорость течения воды в пленке можно записать как

$$u_{ср} = q/\epsilon_{ж.д},$$

где $\epsilon_{ж.д}$ – динамическая задержка жидкости в слое насадки, м³/м³.

В выражении (3) длина волны λ для шероховатой поверхности принимается равной шагу регулярной шероховатости. Например, для насадки “Инжехим-2012” $\lambda = 3 \times 10^{-3}$ м [9]. Значение динамической задержки жидкости $\epsilon_{ж.д}$ для различных насадок определяют по формулам, приведенным в работах [9–11].

Эффективность удаления кислорода из воды с применением ячеечной модели (1) и $N_{ж}$ (2) может быть записана в виде

$$E_{ж} = 1 - \left(1 + \frac{\beta_{ж} a_v H \Psi_w}{nq} \right)^{-n}.$$

Отсюда можно получить требуемую высоту насадки по заданной эффективности очистки воды $E_{ж} < 1$:

$$H = \frac{nq}{a_v \Psi_w \beta_{ж}} \left[\left(\frac{1}{1 - E_{ж}} \right)^{\frac{1}{n}} - 1 \right]. \quad (4)$$

Число ячеек связано с модифицированным числом Пекле, которое для различных насадок вычисляется по формулам, представленным в работах [4, 6, 9–11]. Коэффициент смачиваемости поверхности при плотности орошения более 50 м³/(м² · ч) можно принять $\Psi_w \approx 1$.

Динамическая задержка жидкости для хаотичной насадки “Инжехим-2012” с шероховатой поверхностью определяется по формуле из работы [9]

$$\epsilon_{ж.д} = 0.65 \text{Re}_{ж}^{0.49} \text{Ga}^{-0.35},$$

где $\text{Re}_{ж} = 4q/(v_{ж} a_v)$ – число Рейнольдса; $v_{ж}$ – кинематический коэффициент вязкости жидкости, м²/с; $\text{Ga} = g(v_{ж}^2 a_v^3)^{-1}$ – число Галилея для насадки; g – ускорение свободного падения, м/с².

Таблица 1. Значения коэффициентов, входящих в формулу для расчета числа ячеек полного перемешивания в жидкой фазе

Re _ж	A	k
50–340	1.71 × 10 ⁻²	-0.316
340–1200	3.88 × 10 ⁻⁵	0.660

Значения $\epsilon_{ж.д}$ для насадок других типов даны в монографиях [10, 11].

Расчет числа ячеек полного перемешивания в жидкой фазе производят по выражению $n \approx \text{Re}_{ж}/2$, в котором число Пекле вычисляют по формуле [11]

$$\text{Pe}_{ж} = \frac{u_{ср} H}{D_{п.ж}} = A \text{Re}_{ж}^k \text{Ga}^{0.1} \left(\frac{H}{\theta} \right)^{0.68},$$

где $D_{п.ж}$ – коэффициент перемешивания жидкой фазы, м²/с; $\text{Ga} = g\chi^3/v_{ж}^2$ – число Галилея, для определения которого используют капиллярную постоянную $\chi = \sqrt{\sigma/(g\rho_{ж})}$; σ – поверхностное натяжение, Н/м; $\theta = \sqrt[3]{v_{ж}^2/g}$ – приведенная толщина пленки, м. Значения коэффициентов A и k , зависящих от числа Рейнольдса, представлены в табл. 1.

СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДЕСОРБЕРОВ

Далее в качестве примера предлагается рассмотреть расчет насадочного декарбонизатора по исходным данным из учебного пособия [12]:

Расход воды $V_{ж}$, м ³ /ч	163.2
Плотность орошения, м ³ /(м ² · ч)	60
Диаметр аппарата, м	1.86
Расход воздуха, м ³ /ч (м ³ /с)	6536 (1.82)
Скорость воздуха в свободном сечении колонны $W_{г}$ (без насадки), м/с	0.667
Температура воды, °С	40
Плотность воды (при 40°С) $\rho_{ж}$, кг/м ³	992
Кинематический коэффициент вязкости $v_{ж}$, м ² /с	6.6 × 10 ⁻⁷
Коэффициент молекулярной диффузии растворенного в воде CO ₂ $D_{ж}$, м ² /с	2.52 × 10 ⁻⁹
Концентрация CO ₂ , мг/дм ³ :	
начальная $c_{н}$	61.6
требуемая конечная $c_{к}$	4.0
равновесная c^*	0.4
Требуемая эффективность массопередачи $E_{ж}$	0.941

Для металлической насадки “Инжехим-2012”, имеющей, например, условный диаметр 24 мм

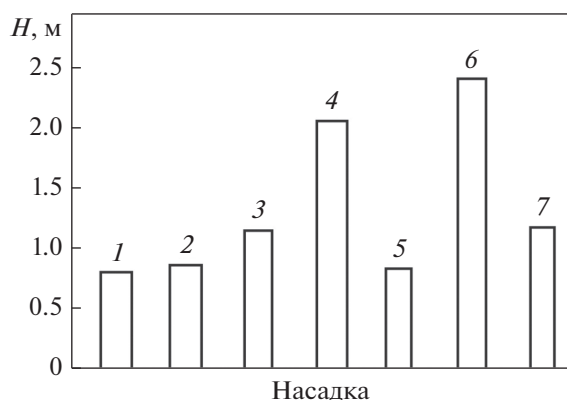


Рис. 1. Требуемая высота слоя насадки для очистки воды от CO_2 на 98.5%. $E_{\text{ж}} = 0.985$; удельный расход воды $60 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$; скорость воздуха 0.7 м/с .

1 – сегментно-регулярная насадка “Инжехим”; 2 – рулонная гофрированная насадка “Инжехим” (с шероховатой поверхностью); 3 – рулонная гофрированная насадка “Инжехим” (с просечками); 4 – нерегулярная насадка “Инжехим-2000”; 5 – нерегулярная насадка “Инжехим-2002”; 6 – металлические кольца Рашига; 7 – регулярная металлическая насадка ВАКУ–ПАК

($a_v = 166 \text{ м}^2/\text{м}^3$, $d_{\text{экв}} = 0.023 \text{ м}$), по табл. 2 и выражениям (3), (4) можно определить коэффициент массоотдачи $\beta_{\text{ж}} = 1 \times 10^{-3} \text{ м/с}$, число ячеек $n = 14$ и высоту слоя насадки $H = 0.32 \text{ м}$.

При повышении начальной концентрации CO_2 до $c_{\text{н}} = 250 \text{ мг/дм}^3$ требуемая эффективность удаления кислорода из воды $E_{\text{ж}}$ должна быть равна 0.982. Тогда слой насадки согласно (4) будет иметь высоту $H = 0.48 \text{ м}$.

Для сравнения, при использовании керамических колец Рашига диаметром 25 мм ($a_v = 200 \text{ м}^2/\text{м}^3$, $d_{\text{экв}} = 0.015 \text{ м}$) при $E_{\text{ж}} = 0.941$ по формуле (4) получается $H = 1.22 \text{ м}$, при $E_{\text{ж}} = 0.982$ высота слоя $H = 1.8 \text{ м}$. Коэффициент массоотдачи в жидкой фазе для насадки из колец Рашига вычисляли по эмпирическому выражению А.Г. Касаткина [11]. Перепад давления в колонне с насадкой “Инже-

хим-2012” по сравнению с кольцами Рашига в 3–4 раза ниже, так как при заданной эффективности требуется слой насадки меньшей высоты H . Кроме того, у насадки “Инжехим-2012” коэффициент гидравлического сопротивления меньше на 25–35% [9]. Отсюда очевидно преимущество современных насадок.

На рис. 1 представлена гистограмма требуемой высоты различных насадок при заданной эффективности извлечения из воды растворенного в ней CO_2 $E_{\text{ж}} = 0.985$. Из рисунка следует, что наиболее предпочтительны для этого насадки 1, 2 и 5.

Технические характеристики насадок приведены в табл. 3 по данным [10].

По мощности, затрачиваемой на подачу газа, наиболее рационально применение насадок 1, 2 и 7 (рис. 2).

Для процесса термической деаэрации воды при начальной концентрации растворенного в ней O_2 $c_{\text{н}} = 1000 \text{ мкг/дм}^3$ и требуемой на выходе аппарата 30 мкг/дм^3 эффективность удаления кислорода $E_{\text{ж}}$ составляет 0.97, при $c_{\text{н}} = 1500 \text{ мкг/дм}^3$ получаем $E_{\text{ж}} = 0.98$, при $c_{\text{к}} = 20 \text{ мкг/дм}^3$ имеем $E_{\text{ж}} = 0.987$. Значение равновесной концентрации c^* будет равно примерно 1 мкг/дм^3 [12].

В табл. 4 приведены параметры рабочего процесса деаэрата ДСА-300 Казанской ТЭЦ-3 до его модернизации (данные предоставлены Казанской ТЭЦ-3). Деаэраторный бак оборудован колонкой диаметром 2 м и высотой около 3 м с контактными устройствами струйно-барботажного типа. Деаэраторы такой конструкции применяются на различных ТЭС более 60 лет и описаны в работах [12, 13]. Плотность орошения при расходе $130\text{--}345 \text{ т/ч}$ составляет от 40 до $105 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ в зависимости от условий работы ТЭС. Как видно из табл. 4, на выходе наблюдается превышение требуемой нормы деаэрации на 20–50% (более 20 мкг/дм^3).

Для выбора технических решений по модернизации ДСА-300 были выполнены расчеты по представленной математической модели деаэра-

Таблица 2. Основные характеристики нерегулярной насадки “Инжехим-2012”

Параметр	Условный диаметр насадки d , мм						
	8	12	16	24	35	45	60
Количество в 1 м^3 , тыс. шт.	1640.00	435.00	184.00	65.00	18.80	11.55	4.50
Удельная масса, кг/м^3	800.00	560.00	391.90	246.70	202.10	190.00	258.00
Удельная площадь поверхности насадки a_v , $\text{м}^2/\text{м}^3$	596.00	416.00	269.00	166.00	107.00	101.00	69.00
Свободный объем насадки $\epsilon_{\text{св}}$, $\text{м}^3/\text{м}^3$	0.90	0.93	0.94	0.96	0.97	0.97	0.97
Эквивалентный диаметр $d_{\text{экв}}$, мм	6.00	9.00	14.00	23.00	36.50	38.60	55.50

Таблица 3. Технические характеристики насадок [10]

Насадка	Параметр	
	$a_v, \text{ м}^2/\text{м}^3$	$\epsilon_{\text{св}}$
Сегментно-регулярная “Инжихим”	250	0.95
Регулярная рулонная гофрированная “Инжихим” с шероховатой поверхностью	300	0.90
С просечками	300	0.90
Нерегулярная “Инжихим-2012”	166	0.94
Нерегулярная “Инжихим-2002”	200	0.95
Нерегулярная из металлических колец Рашига	220	0.92
Регулярная металлическая ВАКУ–ПАК	115	0.98

Таблица 4. Параметры рабочего процесса деаэрата ДСА-300 при заданных условиях (температура на входе 36°С, на выходе 100°С, концентрация в воде растворенного O₂ на входе более 1000 мкг/дм³, норма на выходе 30 мкг/дм³)

Параметр	Период		
	летний	весенний	зимний
Расход, т/ч:			
жидкости $L_{\text{ж}}$	130	270	345
пара $G_{\text{пар}}$	4.5	9.3	11.9
Концентрация в воде растворенного O ₂ на выходе из аппарата, мкг/дм ³	47.2	29.5	37.0
Эффективность массопередачи в жидкой фазе $E_{\text{ж}}$	0.953	0.971	0.963

ционной колонки с различными контактными устройствами.

Установлено, что насадки 1–3, 5 и 7 обеспечивают эффективность извлечения из воды растворенного в ней кислорода $E_{\text{ж}} = 0.987$ при высоте слоя $H \geq 1.0$ м. В связи с тем что монтаж регулярных насадок в деаэрационную колонку ДСА-300 связан с определенными затруднениями, модернизация была проведена с применением хаотичной насадки “Инжихим-2012” условным диаметром 35 мм (см. табл. 2). Из колонки были удалены устаревшие струйно-барботажные тарелки и загружены

хаотичные элементы с высотой слоя $H = 1.9$ м. В процессе эксплуатации деаэрата ДСА-300 после модернизации были достигнуты высокая разделительная способность насадки и непревышение нормы содержания кислорода в воде.

ВЫВОДЫ

1. Рассмотренная математическая модель позволяет выполнять расчеты массообмена в насадочных десорберах различных конструкций, что дает возможность значительно сократить время и затраты на проектирование новых аппаратов или модернизацию уже действующих на ТЭС.

2. Представленная математическая модель может применяться при проектировании или модернизации пленочных десорберов, когда основное сопротивление массопередаче сосредоточено в жидкой фазе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ямлеева Э.У., Шарапов В.И. Исследование процесса аэрации деаэрированной воды в баках-аккумуляторах ТЭЦ г. Ульяновска // Вестник Ульян. гос. техн. ун-та. 2018. № 1 (81). С. 42–47.
2. Исследование технологических процессов атмосферной деаэрации воды / Г.В. Ледуховский, В.Н. Виноградов, С.Д. Горшенин, А.А. Коротков; под общ. ред. Г.В. Ледуховского. Иваново: ИГЭУ, 2016.
3. Ледуховский Г.В. Моделирование процессов удаления из воды угольной кислоты в деаэраторах ат-

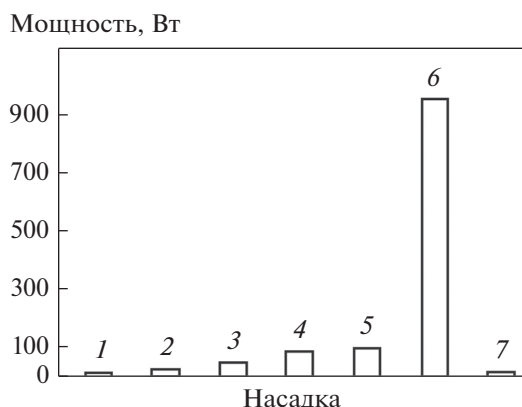


Рис. 2. Мощность, затрачиваемая на подачу газа для очистки 60 т/ч воды от CO₂. Обозначения см. рис. 1

- мосферного давления // Теплоэнергетика. 2017. № 2. С. 55–62.
<https://doi.org/10.1134/S0040363617020059>
4. Комиссаров Ю.А., Гордеев Л.С., Вент Д.П. Основы конструирования и проектирования промышленных аппаратов: учеб. пособие для вузов. 2-е изд., испр. и доп. М.: Юрайт, 2017.
 5. Разинов А.И., Клинов А.В., Дьяконов Г.С. Процессы и аппараты химической технологии: учеб. пособие. Казань: КНИТУ, 2017.
 6. Лаптев А.Г., Башаров М.М. Эффективность теплообмена и разделения гетерогенных сред в аппаратах нефтегазохимического комплекса. Казань: Центр инновационных технологий, 2016.
 7. Лаптев А.Г., Лаптева Е.А. Математическая модель и расчет термического деаэратора с барботажным баком-аккумулятором // Теплоэнергетика. 2019. № 9. С. 92–98.
<https://doi.org/10.1134/S0040363619090029>
 8. Холпанов Л.П., Шкадов В.Я. Гидродинамика и теплообмен с поверхностью раздела. М.: Наука, 1990.
 9. Фарахов М.М., Фарахов Т.М., Лаптев А.Г. Гидравлические характеристики хаотичной насадки “Инжехим” для контакта газа и жидкости // Фундаментальные исследования. 2018. № 3. С. 24–28.
 10. Контактные насадки промышленных теплообменных аппаратов / А.М. Каган, А.Г. Лаптев, А.С. Пушнов, М.И. Фарахов; под ред. А.Г. Лаптева. Казань: Отечество, 2013.
 11. Рамм В.М. Абсорбция газов. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Химия, 1976.
 12. Копылов А.С., Лавыгин В.М., Очков В.Ф. Водоподготовка в энергетике. 3-е изд., стереотип. М.: Издательский дом МЭИ, 2006.
 13. Шарапов В.И., Цюра Д.В. Термические деаэраторы. Ульяновск: Ульян. гос. техн. ун-т, 2003.

Determining the Efficiency of Desorption of Corrosive-Active Gases in Columns with Chaotic and Regular Nozzles

E. A. Lapteva^{a,*} and M. I. Farakhov^b

^aKazan State Power Engineering University, Kazan, 420066 Russia

^bOOO Engineering and Implementation Center Inzhekhim, Kazan, 420032 Russia

*e-mail: grivka100@mail.ru

Abstract—The process of removing corrosive gases from water at TPPs in packed columns of calciners and in columns of thermal deaerators with a storage tank in film mode is considered, and a mathematical model is presented for calculating the efficiency of the desorption process. A cell model of the flow structure and an equation for calculating the mass transfer coefficient for a wave flow of a water film over the surface of a packing with artificial roughness are used. The value of the required height of the packing layer is obtained for the given density of irrigation with water and the efficiency of extracting gases dissolved in water. Formulas are given for calculating the parameters of a mathematical model: the coefficient of mass transfer in the wave film, the average velocity of water in the film, the dynamic retention of the liquid in the packing layer and the number of cells for complete mixing of the liquid phase. The possibility of using metal chaotic and regular packings is considered, and the results of calculations of the efficiency of mass transfer and the required height of the packing layer at various operating parameters of the desorption process are presented. The graphs of the required layer height for the given efficiency of mass transfer and the power spent on air supply to the desorber when using various nozzles of domestic and foreign production are presented. The article describes the operation of a thermal deaerator with a storage tank and outdated contact devices in a deaerator column at a TPP. The main mass transfer and hydraulic characteristics of modern nozzles for thermal deaerators are presented. Technical solutions have been developed that can be used when choosing a highly efficient metal chaotic packing with a rough surface, which provides an increase in the mass transfer coefficient in a liquid wave film and, accordingly, the efficiency of mass transfer. A variant for modernization of the deaeration column of the DSA-300 deaerator at the Kazan CHPP-3 by replacing outdated contact devices with a modern chaotic packing is shown. As a result of its application, compliance with the standards of water purification from dissolved oxygen is ensured at various loads on water and steam.

Keywords: thermal power plants, desorption, packing, efficiency, modernization, dissolved gases, mass transfer, cell model, flow structure