

УДК 66.081.5

Масикевич А.Ю., Шапорев В.П., Лопухина О.А.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ДЕСОРБЦИИ АММИАКА ИЗ СТОЧНЫХ ВОД  
В АППАРАТЕ С ВАКУУМ - ИМПУЛЬСНЫМ РЕЖИМОМ**

## Введение

Применение вакуум-импульсных режимов для интенсификации процессов тепло-массопередачи считается актуальным и перспективным направлением, обеспечивающим не только интенсификацию процесса, но и существенное снижение энергозатрат на его осуществление [1-4]. В связи с этим представляет значительный интерес применения вышеуказанных аппаратов и процесса для подготовки промышленных сточных вод перед подачей их на биологическую очистку с целью десорбции летучих компонентов из сточной воды.

В данной работе приведены результаты экспериментальных исследований на опытной установке по исследованию процесса десорбции аммиака из сточных вод перед подачей их на биологическую очистку.

Установка, методы исследований и обработка экспериментальных результатов

Исследования проводили на опытной установке, технологическая схема которой представлена на рисунке 1, 2. Установка включала аппарат мгновенного вскипания (АМВ) (поз. 1), холодильник (поз. 2), бак-мерник для флегмы (поз. 4), заводской трубопровод сброса загрязненной сточной воды (поз. 5), заводской трубопровод свежей технической воды (поз. 6). Функционирование установки осуществлялось следующим образом. Из трубопровода 5 загрязненная сточная вода с температурой (95-98 °С) подавалась в кубовую часть АМВ, где за счет создаваемого разрежения происходило мгновенное вскипание воды. При этом, выделялись водяные пары и аммиак, которые направлялись в холодильник 2, где они конденсировались. В качестве хладагента использовалась свежая техническая вода, забор которой осуществлялся из трубопровода 6. Из холодильника техническая вода вновь сбрасывалась в трубопровод 6.

Образующаяся в холодильнике флегма направлялась в бак-мерник, частично очищенный конденсат – в ресивер. Из последнего и бака-мерника жидкостные потоки возвращались в цикл основного производства. Несконденсированная пароаммиачная смесь и воздух отсасывались вакуум-насосом. Исследования на опытной установке проводились в два этапа. На первом этапе исследовался процесс десорбции аммиака из сточных вод при разрежении в стационарном режиме, то есть в режиме, когда в аппарате АМВ поддерживается определенное постоянное разрежение. На втором этапе, реализовывался импульсно-вакуумный режим. Реализация этого режима обеспечивалась клапаном типа «включено - выключено», который установлен на трубопроводе отвода пароаммиачной смеси из АМВ в холодильник.

При открытом клапане пароаммиачная смесь поступила в холодильник, конденсировалась, за счет чего создавалось разрежение, жидкая фаза в АМВ вскипала. Когда клапан закрывался, продолжалось кипение и, соответственно, выделение водяных паров и аммиака, в результате давление над зеркалом испарения возрастало. Пароаммиачная смесь, поступившая в холодильник при открытом клапане, конденсировалась, давление в зоне конденсации паров снижалось.

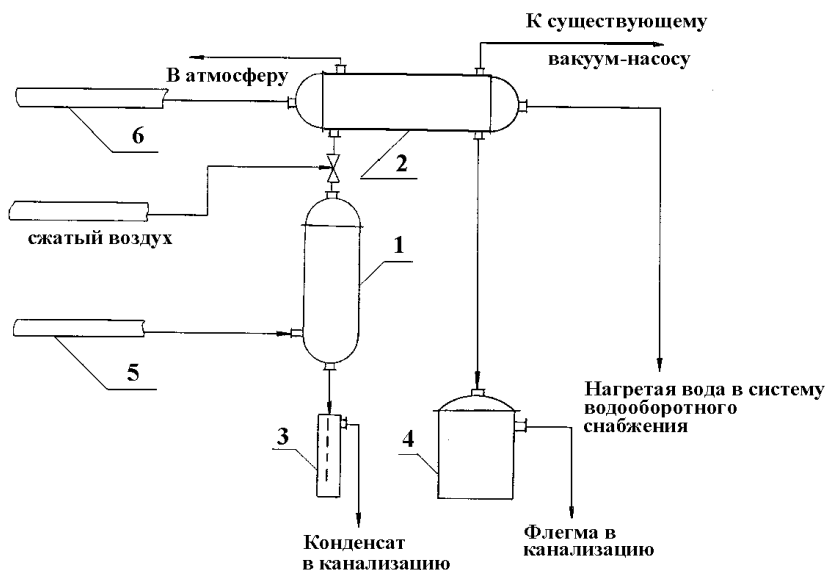


Рисунок 1 – Принципиальная технологическая схема опытной установки  
 1 – аппарат мгновенного вскипания; 2 – холодильник; 3 – ресивер; 4 – бак-мерник для сбора флегмы;  
 5 – существующий трубопровод «загрязненного» конденсата; 6 – существующий трубопровод свежей технической воды

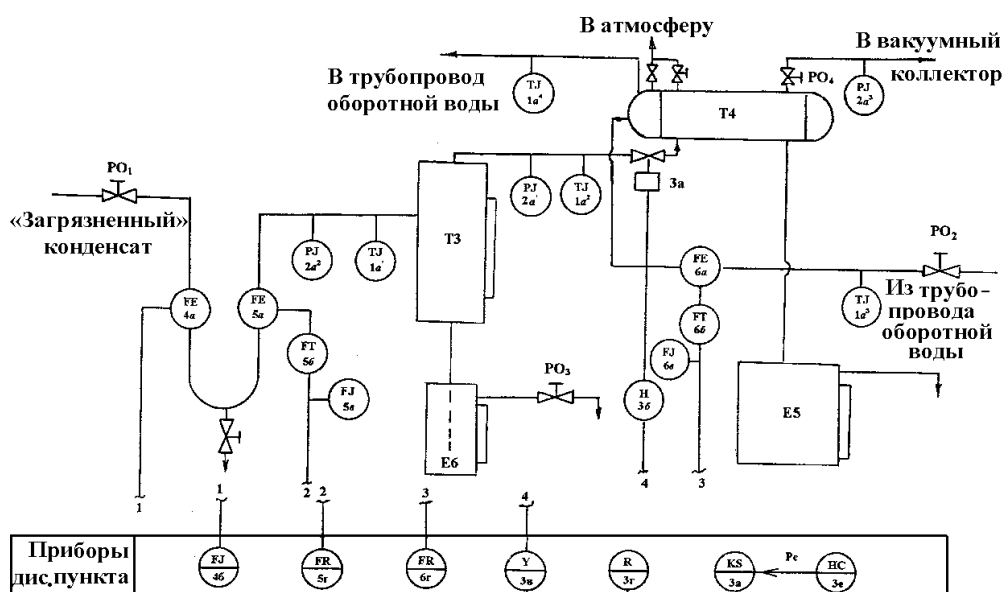


Рисунок 2 – Схема оснащения средствами КИПиА опытной установки

При последующем открытии клапана происходил интенсивный отбор пароаммиачной смеси из парового пространства АВМ в зону конденсации холодильника за счет создавшегося перепада давления. При проведении исследований, уровень «загрязненной» воды в кубовой части АВМ поддерживался постоянным  $\sim 1,5$  м, расход «загрязненной» воды изменялся в интервале от 2 до  $4,5$  м<sup>3</sup>/ч, расход охлаждающей воды от 2 до  $10$  м<sup>3</sup>/ч. Установка была оснащена КИП и А (рис. 2). Согласно приведенной схеме показатели манометрического и температурного режимов процесса определились по месту (рис. 2, поз. 1а<sup>1</sup>, 1а<sup>2</sup>, 1а<sup>3</sup>, 1а<sup>4</sup>, 2а<sup>1</sup>, 2а<sup>2</sup>, 2а<sup>3</sup>). Расходы сточной и охлаждающей воды измерялись с помощью камерных диафрагм (рис. 2, поз. 5а, 6а). Контроль и регистра-

ция этих расходов осуществлялась как по месту (поз. 5в, 6в), так и в диспетчерском пункте (поз. 4б, 5г, 6г). Разрежение в системе предварительно устанавливалось воздействием на (РО<sub>4</sub>). При реализации циклического режима использовался генератор пневмоимпульсов типа А1 – 60.00.00 (поз. 3Д), выход, которого регистрировался вторичным прибором, установленным в диспетчерском пункте (поз. 3г). Одновременно выход генератора был связан через панель дистанционного управления (поз. 3б) с регулирующим клапаном (поз. 3а). Длительность цикла устанавливалась с помощью переменного дросселя, расположенного в корпусе генератора. Скважность (длительность подачи импульсов в течении периода) устанавливалась с помощью редуктора типа РДФ (поз. 3е) сигнал с которого (Рс) поступал на соответствующий вход генератора. Наряду с вышеперечисленными замерами при проведении исследований проводился аналитический контроль параметров процесса по методике [5]. Отбор проб осуществлялся в условиях, когда расходы сточной воды, охлаждающей воды, их температура, давление и температура пароаммиачной смеси не изменялись. При этом, когда реализовался стационарный режим, отбор проб производился через каждый час после начала опыта. В условиях импульсно-вакуумного режима первая проба отбиралась после начала опыта через промежуток времени, равный периоду, в течение которого осуществлялось три цикла. Вторая и каждая четная пробы через промежуток времени, равный трем циклам и времени, когда клапан закрыт. Третья и каждая нечетная проба через промежуток времени, равный сумме трех циклов и времени, в течении которого клапан открыт. На каждом режиме проводилось 85 опытов. Обработка экспериментальных данных проводилась с целью определения параметров, характеризующих процесс десорбции аммиака. При этом использовались следующие расчетные формулы:

Давление в АМВ, Па

$$P_1 = (B - P_B) \cdot 133,3. \quad (1)$$

Масса удаляемого аммиака из сточных вод, кг/ч

$$G_{NH_3} = 10^{-3} L(x_1 - x_2), \quad (2)$$

где  $L$  – расход воды;  $x_1, x_2$  – соответственно массовая концентрация аммиака во входящем и выходящем потоке из АМВ, мг/дм<sup>3</sup>.

Степень отгонки аммиака из сточной воды, %

$$U_{NH_3} = \frac{x_1 - x_2}{x_1} \cdot 100. \quad (3)$$

Коэффициент массопередачи, м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>ч

$$K = \frac{G_{NH_3}}{(y^* - y)F}, \quad (4)$$

$y^*$  – равновесная концентрация  $NH_3$  в пароаммиачном потоке кг/кг, которая определялась по уравнению [6]

$$y^* = \frac{17}{18} \cdot \frac{\psi \cdot x_1}{P_1}; \quad (5)$$

$$\lg \psi = 9,343 - \frac{1922}{273,15 + \Theta}, \quad (6)$$

где  $\Theta$  – температура,  $^{\circ}\text{C}$ .

$y_{NH_3}$  – массовая концентрация  $NH_3$  в пароаммиачном потоке равна [6]:

$$y_{NH_3} = \frac{17}{18} \cdot \frac{P_{NH_3}}{P_1}, \hat{e}\tilde{a}/\hat{e}\tilde{a} \quad (7)$$

$$\lg P_{NH_3} = \frac{1750}{273 + \Theta_1} + 1,11 \lg \frac{x_0}{17} + 7, \text{ мм рт. ст.} \quad (8)$$

Зависимость коэффициента массоотдачи  $K_L$  (м/ч) от гидродинамических факторов и физических факторов искали путем статистической обработки экспериментальных данных в виде:

$$Nu = \beta_0 \cdot Re^{\beta_1} \cdot Pr^{\beta_2}, \quad (9)$$

где  $\beta_i$  – электические коэффициенты ( $i=0, \tilde{r}$ ).

Критерии подобия Нуссельта (Nu), Рейнольдса (Re), Прантля (Pr) в общем случае вычисляются по [5]:

$$Nu = Kd / D; Re = wd\rho / \mu_{\tilde{a}}; Pr = 3600\mu_{\tilde{a}} / (D \cdot \rho_{\tilde{a}}).$$

В частном случае по экспериментальным данным вычисляли:

$$Pr = 3600\mu_{\tilde{a}} / (D \cdot \rho_{\tilde{a}}); Re = G_{\tilde{o}} / (1266,7\mu_{\tilde{a}}).$$

Динамическая вязкость газа вычислялась по формуле [6]:

$$\mu_{\tilde{a}} = \mu_0 \left[ (273,2 + \tilde{N}_1) / (\tilde{O} + \tilde{N}_1) \right] \cdot (\tilde{O} / 273,2)^{2/3}, \quad (10)$$

где  $\mu_0$  – коэффициент динамической вязкости водяного пара при температуре  $\Theta = 0^{\circ}\text{C}$ ,  $\mu_0 = 861 \cdot 10^{-8}$  Нс/м<sup>2</sup>,  $T = 273,2 + \Theta$ , коэффициент  $C_I = 650$  для  $H_2O$ , плотность водяного пара вычислялась по формуле [6]:

$$\rho_{\tilde{a}} = 1 / \left\{ \left[ 47,1(273,2 + \Theta) / 1,35576 \cdot \tilde{D} \right] - 0,016 \right\}, \quad (11)$$

где  $P$  – давление паров воды, мм рт. ст.; произведение  $1,35576 \cdot P$  – то же, МПа.

Анализ результатов исследования

В таблице 1 приведены основные результаты исследования процесса на опытной установке.

Таблица 1 – Результаты экспериментальных исследований процесса отгонки  $NH_3$  на опытной установке

Давление в АМВ, мм рт. ст./ МПа	Температура $\Theta$ , $^{\circ}C$	Расход $G_{NH_3}$ , кг/ч	Коэффициент массоотдачи $K_L$ , м/ч	Коэффициент диффузии $D$ , $m^2/ч$
	$x_1 \cdot 10^1$	$x_2 \cdot 10^1$	$x_3 \cdot 10^3$	$x_4 \cdot 10^3$
1	2	3	4	5
* 570/0,076	950	0600	0670	150
** 570/0,076	950	0600	0900	170
* 499/0,0653	880	0585	0572	148
** 490/0,0653	870	0600	0732	160
* 468/0,0624	865	0528	0684	157
** 440/0,0586	855	0477	0836	165
1	2	3	4	5
* 440/0,0586	850	0832	1534	162
** 420/0,056	843	0740	1934	174
* 360/0,048	805	0840	1420	188
** 360/0,048	805	0800	2540	200
* 220/0,0293	730	1375	4628	280
** 220/0,0293	700	1986	8165	350

\* – режим стационарный; \*\* – режим импульсно-вакуумный

В каждой строке приведены среднеарифметические значения (85 опытов).

Как и следовало ожидать, при проведении процесса десорбции  $NH_3$  из сточных вод в стационарном режиме, степень очистки сточных вод от аммиака зависит от величины разрежения в АМВ. Так, при расходе сточных вод  $4 \text{ м}^3/\text{ч}$  и разрежении  $4 \cdot 10^4 \text{ Па}$  (300 мм рт. ст.) степень отгонки составляет 20 %, а при разрежении  $6 \cdot 10^4 \text{ Па}$  (450 мм рт. ст.) – около 40 %. При разрежении  $(2,5 \div 3,6) \cdot 10^4 \text{ Па}$  степень отгонки составляет 58-60 %, то есть практически достигает предельного значения для стационарных условий. Соответственно, величине разрежения в АМВ изменяется и коэффициент массоотдачи, который при возрастании разрежения на 10-15 % увеличивается в 1,6÷1,8 раза, соответственно увеличивается и коэффициент диффузии на 6-8 %. Уменьшение расхода сточных вод до  $2 \text{ м}^3/\text{ч}$  практически не оказывает влияния на вышеотмеченные показатели. Существенное влияние оказывает массовая концентрация аммиака в сточной воде, поступающей на процесс десорбции.

Анализ экспериментальных данных показал, что при снижении массовой концентрации аммиака в исходном растворе (при прочих равных условиях) скорость процесса десорбции уменьшается, о чем свидетельствует значение  $K_L$ , которое с уменьшением концентрации  $NH_3$  в 2 раза уменьшается в 2,5-3 раза. Однако, степень отгонки  $NH_3$  практически не зависит от исходной массовой концентрации  $NH_3$ . Так, при прочих равных условиях, при исходной концентрации аммиака в сточных водах (90-125 мг/дм<sup>3</sup>), предельная степень отгонки составляет 60 %, а при увеличении исходной концентрации в 3 раза (260-375 мг/дм<sup>3</sup>) предельная степень отгонки не превышает

(62-65 %). Это, очевидно, связано с особенностями процесса кипения недогретой жидкости при воздействии вакуума и, соответственно, структурой газожидкостного слоя. По-видимому, при достижении степени отгонки 60-65 %, количество потенциальных центров парообразования резко уменьшается, размер паровых пузырей не достигает своих критических значений, они не всплывают к поверхности слоя жидкости. Массообмен, хотя и происходит в момент зарождения газовых пузырей, однако они не достигая критического размера конденсируются. Повышение температуры на 7-10 градусов, даже при более меньшем разрежении (давление в АМВ  $7,6 \cdot 10^4$  Па) приводит к повышению значения  $K_L$  в 1,17 раза и степени отгонки в 1,3 раза (до 39 %) по сравнению с данными при температуре  $88^\circ\text{C}$  и давлении в АМВ  $- 6,53 \cdot 10^4$  Па.

Кроме того, было установлено, что повышение температуры на 7-10 градусов сдвигает значения предельной степени отгонки на 10-12 % в сторону увеличения.

Все эти явления, которые наблюдаются при стационарном режиме достаточно корректно объяснимы с точки зрения теории процесса кипения жидкости в большом объеме [7]. Согласно теории, критический радиус парового пузыря оценивается по уравнению [7]:

$$r_{\text{крит}} = \frac{2\sigma}{(P_n - P_{\text{жс}})}, \quad (12)$$

где  $P_n$ ,  $P_{\text{жс}}$  – силы давления пара внутри пузыря и сила давления окружающей жидкости,  $\sigma$  поверхностное натяжение самого пузыря. Если создается вакуум в системе, то в уравнении (12) меняется величина  $\sigma$ , возрастает разность  $(P_n - P_{\text{жс}})$  и соответственно возрастает  $\Delta T = T_{\text{жс}} - T_n$  за счет того, что при понижении давления уменьшается  $T_n$  – температура насыщения. Соответственно уменьшается  $r_{\text{крит}}$ . Это приводит к резкому увеличению скорости парообразования:

$$W = \frac{q}{r\rho_n}, \quad (13)$$

$q$  – величина аккумулированного тепла жидкостью;  $\rho_n$  – плотность парового пузыря (пар + легколетучий компонент). При уменьшении концентрации  $\text{NH}_3$  в растворе, число потенциальных центров зародышеобразования резко уменьшается, кроме того, паровой пузырь в основном содержит  $\text{H}_2\text{O}$  и для образования парового пузыря, всплывающего через слой жидкости требуется большое значение  $r_{\text{крит}}$ . Поэтому, для обеспечения интенсивного парообразования необходимо увеличивать разрежение в АМВ, повышать значение  $q$  (см. уравнение 13) или увеличить интенсивность использования  $q$ .

Для обеспечения последнего, согласно [8], необходимо над уже кипящей жидкостью резко повысить давление. При этом, согласно [8], интенсивность теплоотдачи, то есть интенсивность использования ( $q$ ) для парообразования увеличивается. С увеличением давления увеличивается  $T_n$ , при этом уменьшается  $\sigma$ . В результате [8], величина требуемого  $\Delta T$  для поддержания пузырькового кипения снижается. В этих условиях увеличивается число жизнеспособных зародышей паровой фазы, в следствии активизации более мелких центров парообразования, что приводит к интенсификации тепло-массопереноса. Таким образом, можно предположить, что сочетание стационарного вакуумного режима с периодическим (циклическим) повышением давления в системе может интенсифицировать процесс и повысить степень отгонки  $\text{NH}_3$ . Эксперименталь-

ные результаты, приведенные в таблице 1, наглядно подтверждают это предположение (\*\*). Соответствующие замеры параметров и наблюдения за процессом показали, что при не стационарном (циклическом) режиме, в момент открытия клапана, то есть создания разрежения, происходит интенсивный отбор пароаммиачной смеси из АМВ, при этом, скорость отгонки  $\text{NH}_3$  по сравнению со стационарным режимом увеличивается в 1,4-1,6 раза. При последующем закрытии клапана, степень отгонки  $\text{NH}_3$  в сепарационный объем АМВ почти такая же, как и при ведении процесса в стационарном режиме. Было установлено, что при закрытии клапана, давление и температура пароаммиачной смеси в паровом пространстве АМВ увеличивается. Перегрев жидкости уменьшается только на границе слой жидкости – паровое пространство АМВ. В объеме жидкости температура повышается на 2-3 градуса, поэтому кипение продолжается, что подтверждает вышеизложенные соображения на основе [8]. При вновь открытом клапане, происходит интенсивный отбор пароаммиачной смеси из парового пространства АМВ за счет образующегося перепада давлений, резко повышается разрежение в АМВ и происходит вновь интенсивное кипение по всему объему.

Анализ экспериментальных данных показал, что наиболее интенсивно процесс десорбции  $\text{NH}_3$  протекает при продолжительности цикла 5 мин., когда 3 минуты 40 секунд клапан открыт и 1 минуту 20 секунд – закрыт. Визуально и замерами установлено, что если клапан закрыт более 2,5 минут, кипение в слое жидкости подавляется, что объясняется повышением давления в системе до значений близких к атмосферному. Было также установлено, что если клапан закрыт менее 1 минуты, то давление в паровом пространстве повышается не значительно, то есть не успевают пройти процессы, обеспечивающие понижение  $\Delta T$  для поддержания пузырькового кипения. Кроме того, за этот период времени в конденсаторе не успевает сконденсироваться пароаммиачная смесь (о чем свидетельствует температура выходящей воды из конденсатора  $t_{\text{B2}} = 7,2 \text{ }^\circ\text{C}$ ) и соответственно не достигается требуемое разрежение. За время 3 минуты 40 секунд, когда клапан открыт, в системе достигается предельная степень отгонки ~ 60 %.

Таким образом, при открытом клапане, процесс протекает почти как стационарный, а циклическое изменение давления в качестве суммарного эффекта позволяет достичь степени отгонки аммиака 94-96 % против 60-65 %, наблюдаемых при проведении стационарного режима. Из данных приведенных в таблице 1 следует, что при реализации циклического режима, коэффициенты массоотдачи и диффузии (при прочих равных условиях) в 1,8-2 раза выше, чем при реализации стационарного режима. Это свидетельствует о том, что размеры паровых пузырей, интенсивность парообразования предопределяют структуру паро-жидкосного слоя, гидродинамику слоя и, соответственно, интенсивность массопереноса и отгонки аммиака.

В таблице 1 в каждом столбце изменение параметров отмечено в виде переменных  $x_i$  и для обработки результатов, приведенных в таблице 1, применили регрессионный анализ.

В рамках линейного регрессионного анализа [9] модель регрессии – есть сумма:

$$y = \gamma_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \varepsilon_1, \quad (14)$$

где  $y = \ln Nu$ ;  $\gamma_0 = \ln \beta_0$ ;  $x_1 = \ln Re$ ;  $x_2 = \ln Pr$ ;  $\varepsilon$  – аддитивная нормальная случайная ошибка модели с центром в нуле и среднеквадратичным отклонением (СКО)  $\sigma_y$ . Раз-

мерность  $\sigma_y$  совпадает с размерностью величины  $y$ . Поэтому оценка остаточной ошибки уравнения (14) является СКО натурального логарифма величины  $Nu$ ,  $S_0 \rightarrow \sigma_y$ .

В результате обработки данных (табл. 1) методом регрессивного анализа на ЭВМ нашли, что коэффициент  $\beta_2 = 0$  (то есть колебания  $Pr$  не оказывает значимого влияния на  $Nu$ ). Тогда искомая зависимость (уравнение 9) будет иметь вид:

для импульсного режима:

$$Nu = 5,96 \cdot 10^{-5} Re^{1,27}; \quad (15)$$

для стационарного режима:

$$Nu = 3,28 \cdot 10^{-5} Re^{1,1}. \quad (16)$$

Коэффициент  $\beta_1$  значим на уровне значимости  $10^{-7}$ ; среднеквадратичное отклонение (СКО) остаточной ошибки логарифма величины  $Nu$  равно  $S = 0,18$ ; уравнение (15, 16) определено в области  $2800 < Re < 14300$ ;  $0,69 < Pr < 0,73$ . Зависимости (15, 16) информативны, т.к. отношение дисперсии логарифма  $Nu$ ,  $S^2_{об} = 0,56$ , характеризующей общий разброс отклика  $\ln Nu$  вокруг среднего значения логарифма  $\ln Nu = 3,29$ , к остаточной дисперсии логарифма  $Nu$  велико ( $S^2_{об} / S^2_0 = 0,56^2 / 0,18^2 \approx 9,7$ ). Адекватность уравнений (15, 16) оценена путем сравнения СКО  $S_0$  с СКО ошибки воспроизводимости  $S$  величины  $\ln Nu$ . Поскольку на опытной установке проводился пассивный эксперимент (параллельные опыты не проводились), то с помощью специальной программы ДИВО (1,2) на ЭВМ нашли 98 пар почти параллельных опытов, в которых величины  $Re$  были приблизительно равны и соответственно  $S = 0,16$ . Сравнение  $S_0$  с  $S_B$  по критерию Фишера ( $F = S^2_0 / S^2_B = 1,23$ ) позволило не отклонять гипотезу об адекватности уравнений (15, 16) на уровне значимости  $\hat{a} = 0,2$ . Последний равен вероятности ошибочного отклонения проверяемой гипотезы, если она не верна. Так, при малом значении  $\hat{a}$  (по сравнению с  $\hat{a}_{кр} = 0,05$ ) проверяемую гипотезу о равенстве коэффициента  $\beta_1$  нулю (уравнение 9, 14) отклонили, а при большом значении  $\hat{a} \gg \hat{a}_{кр}$  гипотезу об адекватности (15, 16) не отклонили, что и свидетельствует об адекватности зависимостей.

Таким образом, полученные адекватные зависимости (15, 16) подтверждают, что гидродинамика парожидкостного слоя в АМВ предопределяет интенсивность массообмена ( $K_{La}$ ) и степень отгонки аммиака.

#### Выводы

1. Впервые исследованы вакуумный и вакуум - импульсный режимы десорбции аммиака из сточных вод в АМВ; для каждого режима определены параметры; установлены преимущества вакуум - импульсного процесса десорбции аммиака, которые заключаются в более интенсивном протекании процесса и достижении более высокой степени отгонки  $NH_3$  95-96 % по сравнению с вакуумным – 60-65 %.

2. Показано, что интенсивность десорбции  $NH_3$  из сточных вод в АМВ предопределяется величиной паровых пузырей, структурой парожидкостного слоя и, соответственно, гидродинамикой, которые в свою очередь зависят от интенсивности парообразования и концентрации  $NH_3$ .

3. Определены коэффициенты массоотдачи для каждого исследуемого режима, показано, что при реализации вакуум – импульсного режима значения  $K_{La}$  в 1,6-1,8 раза больше.



4. Получены эмпирические зависимости (15, 16) для определения  $Nu$  при проведении процесса в соответствующих режимах, установлена адекватность полученных моделей.

#### Литература

1. Hassen D., Neggaz Y.J. Analyze removal in cross – flow micro filtration of suspensions under varying conditions. // J. Membr. Sci. – № 6. – 2000. – P. 267-283.
2. Ting Jack, Helfferich Friedrich G. at all. Experimental study of wave propagation dynamics of multicomponent distillation columns. // Ind and Eng. Chem. Res. – 38 № 10. – 1999. – P. 3588-3605.
3. Пат. 2163827 Россия МПК В 01 D 11/02. Способ экстрагирования материалов. Заяв. 06.07.1998. Опубл. 10.03.2001.
4. Мартынова О.И., Самойлов Ю.Ф., Петрова Т.И. и др. Переход аммиака из кипящей воды в генерируемый насыщенный пар. – М.: Московский энерг. Ин-т. Деп. В Информэнерго 26.03.91. – № 3279 – эн 91. – 1991. – 8 с.
5. Лурье Ю.Ю. Унифицированные методы анализа вод.–М.: Химия.–1971.–376 с.
6. Ткач Г.А., Шапорев В.П., Титов В.М. Производство кальцинированной соды по малоотходной технологии. – Харьков: ХГПУ. – 1999. – 600 с.
7. Маньковский О.Н., Толчинский А.Р., Александров В.А. Теплообменная аппаратура химических производств. – Л.: Химия. – 1976. – 361 с.
8. Юдаев Б.Н. Теплопередача. – М.: Высш. школа. – 1973. – 353 с.
9. Румшинский Л.З. Математическая обработка результатов эксперимента. – М.: Наука. – 1971. – 192 с.

УДК 66.081.5

Масікевич А.Ю., Шапорев В.П., Лопухина О.О.

#### **ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ДЕСОРБЦІЇ АМІАКУ ЗІ СТІЧНИХ ВОД В АПАРАТІ З ВАКУУМ - ІМПУЛЬСНИМ РЕЖИМОМ**

У статті вперше проведено експериментальні дослідження процесу десорбції аміаку з стічних вод в апараті миттєвого вскіпання в режимі стаціонарного вакууму та вакуум-імпульсному режимі. Доведено переваги вакуум-імпульсного режиму, які забезпечують досягнення ступеню десорбції аміаку на рівні 95-96 %. Здобуті емпіричні рівняння, які дозволяють розрахувати об'ємний коефіцієнт масовіддачі.