

7. Исаченко В.П. Теплопередача [Текст] / В.П. Исаченко, В.А. Осипова, А.С. Сукомел. – М.: Энергия, 1975. – 488 с.
8. Исаченко В.П. Теплообмен при конденсации [Текст] : монография / В.П. Исаченко. – М.: Энергия, 1977. – 240 с.
9. Семенов-Гян-Шанский В.В. Качка корабля [Текст] / В.В. Семенов-Гян-Шанский, С.Н. Благовещенский, А.Н. Холодилин. – Л.: Судостроение, 1969. – 392 с.
10. Благовещенский С.Н. Справочник по статике и динамике корабля. Динамика (качка) корабля [Текст] / С. Благовещенский, А. Холодилин. – Л.: Судостроение, 1976. – Том 2. – 176 с.
11. Справочник по управлению кораблем [Текст] / А.П. Броневицкий [и др.]; – М.: Военное издательство министерства обороны СССР, 1974. – 140 с.
12. Правила классификации и постройки малых судов. [Текст] / В.В. Севрюков, В.В. Бабий, А.А. Билокурец. – Киев: Официальное издание регистра судоходства Украины, 2004. – Т. 1. – 70 с.

УДК 621.575.932:621.565.92

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛОМАСООБМЕНА ГЕНЕРАТОРНЫХ УЗЛОВ АБСОРБЦИОННЫХ ХОЛОДИЛЬНЫХ АГРЕГАТОВ (АХА)

**Очеретяный Ю.А., Кирилов В.Х., д-р техн. наук, профессор  
Одесский национальный морской университет, Одесса**

**Титлов А.С., д-р техн. наук, доцент**

**Одесская национальная академия пищевых технологий, г. Одесса**

*Представлены результаты моделирования процессов теплообмена при дефлегмации паровой смеси воды и аммиака в абсорбционном холодильном агрегате. Показано, что полученные результаты расчетов согласуются с экспериментальными данными.*

*The results of design of processes of heat exchange are presented at дефлегмации of steam mixture of water and ammonia in an absorption refrigeration aggregate. It is rotined that the got results of calculations comport with experimental information.*

Ключевые слова: паровая смесь, конденсация, пленочное течение, абсорбционный холодильный агрегат

Генераторный узел АХА состоит из генератора-термосифона, дефлегматора и жидкостного теплообменника и является одним из важнейших элементов, определяющий энергетическую эффективность работы всего АХА [1]. Основной задачей его является подача пара холодильного агента (аммиака) в конденсатор с одновременной его очисткой, которая происходит в дефлегматоре.

Цель данного исследования заключается в создании методики математического моделирования процессов дефлегмации паровой водоаммиачной смеси (полной конденсации пара воды и частично пара аммиака) на внутренней поверхности подъемного канала дефлегматора. При этом предполагается известным распределение температуры стенки вертикального канала дефлегматора и температура и концентрация пароаммиачной смеси на входе в дефлегматор.

Дефлегматор представляет собой подъемный канал (круглого сечения) частично теплоизолирован, а остальная часть канала охлаждается окружающим воздухом (рис. 1). В верхней части дефлегматора происходит конденсация паров воды и частично паров аммиака с образованием флегмы (слабый раствор аммиака в воде), которая в виде пленки стекает вниз по внутренней поверхности канала в сборник слабого раствора генератора.

На выходе из дефлегматора необходимо обеспечить концентрацию хладагента (аммиака)  $\xi_{\text{NH}_3} = 1$  или парциальное давление насыщения  $p_{\text{NH}_3}$ .

Исходные данные для моделирования:  $L$  — длина дефлегматора ( $L = 0,18$  м);  $O$  — начало координат оси  $x$  ( $x$  направлена вертикально вниз);  $L_{\text{из}}$  — высота термоизоляции ( $L_{\text{из}} = 0,11$  м); мощность теплового источника  $Q = 75$  Вт; диаметр трубы дефлегматора  $\varnothing 0,011$  м; температура окружающей среды  $t_{\text{OC}} = 22$  °С.

Экспериментальные данные по температуре стенки дефлегматора в зависимости от высоты  $h$  представлены в виде

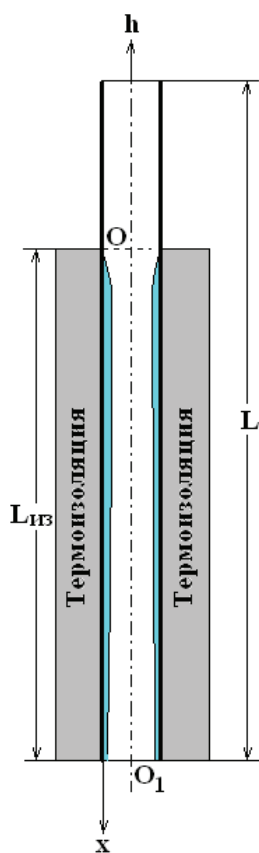
$$T_{\text{cm}} = T(h).$$

Начало координат  $O_1$  оси  $h$  соответствует входному сечению дефлегматора. Изменение температур стенки по высоте вертикального дефлегматора АХА приведено в табл. 1.

**Таблица 1 – Изменение температур стенки ( $T_{cm}$ ) по высоте ( $h$ ) вертикального дефлегматора АХА**

В зоне установки теплоизоляции							
$h, \text{ см}$	0	2	4	6	8	10	11
$T_{cm}, \text{ }^\circ\text{C}$	50	55	60	58	60	54	54
В зоне без теплоизоляции							
$h, \text{ см}$	12	13	14	15	16	17	18
$T_{cm}, \text{ }^\circ\text{C}$	54	58	60	58	82	75	54

Экспериментальные данные, приведенные в табл. 1, свидетельствуют о том, что конденсация водоаммиачного пара происходит в области термоизоляции на высоте  $h = 0,11 \text{ м}$ . Температура внешней поверхности плёнки конденсата  $T_{cp}$  постоянна и заранее неизвестна, однако судя по температуре стенки, она равна  $\approx 52 \dots 54 \text{ }^\circ\text{C}$ .



**Рис. 1 – Изменение температуры стенки по высоте дефлегматора**

где  $\mu_{ж}$  — динамическая вязкость флегмы, Па с;  
 $\rho_{ж}$  — плотность флегмы,  $\text{кг/м}^3$ .

Граничные условия:  
 при  $y = 0$

$$T = T_c(x), \quad V_x = 0; \tag{3}$$

при  $y = \delta(x)$

Рассмотрим задачу о ламинарной плёночной конденсации двухкомпонентного (водоаммиачного) пара на вертикальной стенке дефлегматора. Впервые задача о плёночной конденсации однокомпонентного пара была решена Нуссельтом [7].

На вертикальной стенке, температура которой является переменной по высоте  $T_{cm}(x)$  происходит конденсация паров смешивающихся жидкостей (рис. 2). Плёнка флегмы, толщину которой обозначим через  $\delta = \delta(x)$ , течёт ламинарно.

При исследовании принимаются следующие допущения:

- 1) силы инерции, возникающие в плёнке конденсата, пренебрежимо малы по сравнению с силами вязкости и силами тяжести;
- 2) конвективный перенос теплоты в плёнке, а также теплопроводность вдоль неё несущественны по сравнению с теплопроводностью поперёк плёнки;
- 3) трение на границе раздела паровой и жидкой фаз отсутствует;
- 4) температура внешне поверхности плёнки конденсата постоянна и равна  $T_{cp}$  при заданном давлении пара ( $T_{cp}$  — неизвестна и подлежит определению);
- 5) физические параметры конденсата не зависят от температуры;
- 6) силы поверхностного натяжения на свободной поверхности плёнки не влияют на характер её течения;
- 7) плотность пара мала по сравнению с плотностью конденсата.

Принятые допущения позволяют существенно упростить математическую формулировку задачи. Уравнение теплопроводности и движение имеют следующий вид:

$$\frac{d^2 T}{d y^2} = 0, \tag{1}$$

$$\mu_{ж} \frac{d^2 V_x}{d y^2} = -\rho_{ж} g, \tag{2}$$

$$T = T_{zp}, \quad \frac{\partial V_x}{\partial y} = 0. \quad (4)$$

Интегрирование уравнения теплопроводности даёт  $T(x, y) = ay + b$ .  
Из граничных условий (3), (4) находим

$$b = T_c(x), \quad a = \frac{T_{zp} - T_c(x)}{\delta(x)}.$$

Таким образом, температура конденсата равна

$$T(x, y) = \frac{T_{zp} - T_c(x)}{\delta(x)} \cdot y + T_c(x). \quad (5)$$

Локальный коэффициент теплоотдачи

$$\alpha(x) = \frac{q_c}{T_{zp} - T_c(x)} = \frac{\lambda_{жс} \left( \frac{dT}{dy} \right)_{y=0}}{T_{zp} - T_c(x)} = \frac{\lambda_{жс}}{\delta(x)}. \quad (6)$$

Интегрирование уравнения движения с учётом граничных условий (3), (4) даёт параболический профиль распределения продольной скорости

$$V_x(x, y) = \frac{\rho_{жс} g}{\mu_{жс}} \cdot \delta(x) y - \frac{\rho_{жс} g}{2\mu_{жс}} \cdot y^2, \quad (7)$$

Средняя скорость течения конденсата  $\bar{V}_x$  в сечении  $x$  равна

$$\bar{V}_x(x) = \frac{1}{\delta} \cdot \int_0^{\delta} V_x dy = \frac{\rho_{жс} g}{3\mu_{жс}} \cdot \delta^2. \quad (8)$$

В уравнения (5) — (8) входят переменная толщина плёнки конденсата  $\delta = \delta(x)$ , причём увеличение толщины плёнки  $\left( \frac{d\delta}{dx} > 0 \right)$  обусловлено непрерывным вдоль  $x$  поступлением конденсата в плёнку. Если полагать, что теплота, отданная стенке, есть теплота фазового перехода, то приращение расхода плёнки на элементе  $dx$  можно выразить следующим образом

$$dG = \frac{q_c}{r} dx.$$

Здесь  $\frac{q_c}{r} = j_{zp}$  — плотность потока массы, кг/(м<sup>2</sup> с);

$$q_c = \frac{\lambda_{жс}}{\delta} (T_{zp} - T_c(x)) \text{ — плотность теплового потока у стенки, Вт/м}^2.$$

В результате

$$dG = \frac{\lambda_{жс}}{\delta} \cdot \frac{1}{r} \cdot (T_{zp} - T_c(x)).$$

С другой стороны, изменение расхода конденсата можно описать выражением

$$dG = d \left( \int_0^{\delta} \rho_{жс} V_x dy \right) = d(\rho_{жс} \bar{V}_x \delta).$$

Из последних двух соотношений следует, что

$$\frac{d}{dx} (\bar{V}_x \delta) = \frac{\lambda_{жс}}{r \delta \rho_{жс}} \cdot (T_{zp} - T_c(x)).$$

Подставляя в это выражение значение средней скорости  $\bar{V}_x$  из (8), получаем следующее дифференциальное уравнение относительно переменной толщины плёнки конденсата  $\delta = \delta(x)$

$$\delta^3 \frac{d\delta}{dx} = \frac{\lambda_{жс} \mu_{жс}}{r \rho_{жс}^2 g} \cdot (T_{zp} - T_c(x)). \quad (9)$$

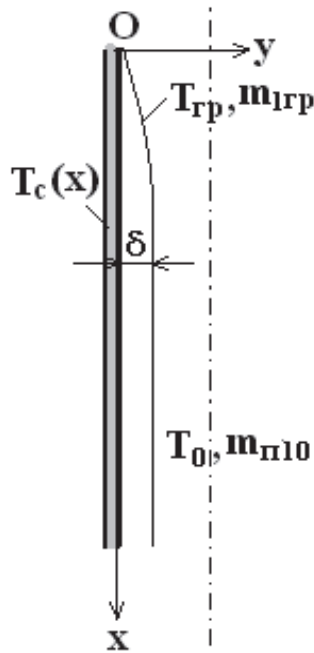


Рис. 2 — Схема течения пленки флегмы по вертикальной поверхности дефлегматора

Начальное условие для уравнения (9) имеет вид

$$\text{при } x = 0 \quad \delta = 0. \quad (10)$$

Из уравнения (9) видно, что толщина конденсата зависит от распределения температуры стенки  $T_c(x)$ . Приведём задачу (9), (10) к безразмерному виду. Вводится линейный масштаб

$$l = \sqrt[3]{\frac{\lambda_{жс} \mu_{жс}}{r \rho_{жс}^2 g} \cdot T_{зр}}, \text{ м} \quad (11)$$

и безразмерные величины

$$\bar{\delta} = \frac{\delta}{l}, \quad \bar{x} = \frac{x}{l}, \quad \bar{T}_c = \frac{T_c}{T_{зр}}. \quad (12)$$

Дифференциальная задача (9), (10) в безразмерной форме примет вид

$$\begin{cases} \bar{\delta}^3 \frac{d\bar{\delta}}{d\bar{x}} = 1 - \bar{T}_c(\bar{x}) \\ \text{при } \bar{x} = 0 \quad \bar{\delta} = 0 \end{cases}. \quad (13)$$

Решим задачу (9), (10), определив функцию  $T_c(x)$  по экспериментальным данным. В области теплоизоляции, где формируется конденсат флегмы, относительно оси  $x$  экспериментальные значения температур приведены в табл. 2.

**Таблица 2 – Экспериментальные данные по температурам в области течения конденсата флегмы**

$x, \text{ см}$	0	1	3	5	7	9	11
$T_{см}, \text{ }^\circ\text{C}$	54	54	60	58	60	55	50

Проведём аппроксимацию эти данных  $T_{см} = T_{см}(x)$  по методу наименьших квадратов. Получаем следующую зависимость в виде полинома четвёртой степени

$$T_{см}(x) = a + bx + cx^2 + dx^3 + ex^4,$$

где  $a = 54,162698$ ,  $b = 4,4517196$ ,  $c = -1,2204861$ ,  $d = 0,13831019$ ,  $e = -0,0065104167$ , коэффициент регрессии  $r^2 = 0,9132$ .

Дифференциальная задача (9), (10) может быть записана как

$$\begin{cases} \bar{\delta}^3 \frac{d\bar{\delta}}{d\bar{x}} = AP_4(x), \quad 0 \leq \bar{x} \leq 11 \\ \text{при } \bar{x} = 0 \quad \bar{\delta} = 0 \end{cases},$$

здесь  $A = \frac{\lambda_{жс} \mu_{жс}}{r \rho_{жс}^2 g}$ ,  $P_4(x) = T_{зр} - a - bx - cx^2 - dx^3 - ex^4$ .

Решение данной задачи

$$\delta_1(x) = (a_1x - b_1x^2 + c_1x^3 - d_1x^4 + e_1x^5)^{0.25}. \quad (14)$$

В выражении (14) приняты следующие обозначения

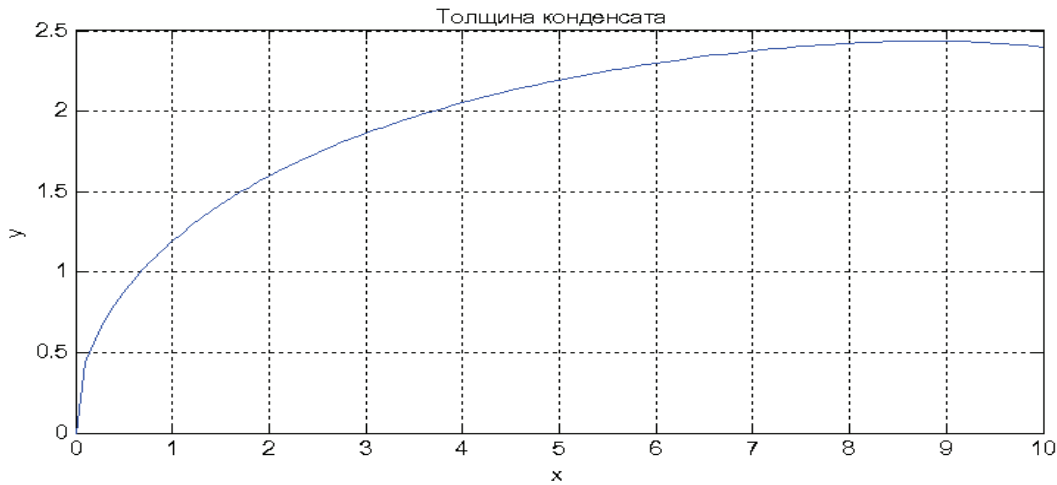
$$\delta_1 = \frac{\delta}{\sqrt[4]{A}}, \quad a_1 = 4 T_{зр} - 216,650792, \quad b_1 = 8,9034392, \quad c_1 = 1,6273148, \quad d_1 = 0,13831019, \quad e_1 = 0,00520833.$$

Визуализация приведенной толщины плёнки конденсата  $\delta_1(x)$  (в системе MatLab) приведена на рис. 3.

Рассмотренная задача о ламинарной плёночной конденсации смешивающихся жидкостей не является завершённой, поскольку конденсируемая плёнка флегмы представляет смесь воды и аммиака. Теплофизические свойства флегмы  $\lambda_{жс}$ ,  $\rho_{жс}$ ,  $\mu_{жс}$ ,  $r$ , а также температура на поверхности конденсата  $T_{зр}$  являются неизвестными, так как эти величины зависят от концентрации каждого компонента флегмы.

В связи с этим необходимо проанализировать процессы переноса в смеси паров происходящих в ядре потока дефлегматора. Следует иметь в виду, что водоаммиачный пар во всём объёме на значительном расстоянии от поверхности разрыва является насыщенным, его температура и давление равны соответственно  $T_o$  и  $p$ , соответствующие состоянию насыщения. В насыщенном состоянии находится также поверхность конденсата. Температуре поверхности раздела фаз  $T_{зр}$  соответствуют массовые доли в паре  $m_{n1зр}$  и  $m_{n2зр} = 1 - m_{n1зр}$  и массовые доли в жидкости (флегме)  $m_{жс1зр}$  и  $m_{жс2зр} = 1 - m_{жс1зр}$ . В общем случае  $m_{n1зр} \neq m_{жс1зр}$  и  $m_{n2зр} \neq m_{жс2зр}$ . Полагая, что  $T_{зр} = \text{const}$  приходим к постоянству вдоль поверхности разрыва

концентрацій  $m_{ж1zp}$  и  $m_{ж2zp}$ , полагаючи також, що вивіде непроницаемості стінки можна вважати, що концентрації  $m_{ж1}$  и  $m_{ж2}$  в рідинці всюди рівні відповідно  $m_{ж1zp}$  и  $m_{ж2zp}$ .



**Рис. 3 – Змінення товщини флегми по висоті дефлегматора (при розрахунках прийнято  $T_{zp} = 54\text{ }^{\circ}\text{C}$ )**

Проведемо дослідження процесів переносу в паровій фазі. Поля швидкостей, температури и конденсації амміака в пограничних шарах описуються рівняннями:

$$\begin{cases} V_x \frac{\partial V_x}{\partial x} + \frac{\partial V_x}{\partial x} + V_y \frac{\partial V_x}{\partial y} = g \left( 1 - \frac{\rho_0}{\rho} \right) + v \frac{\partial^2 V_x}{\partial y^2}, & \frac{\partial V_x}{\partial x} + \frac{\partial V_y}{\partial y} = 0 \\ V_x \frac{\partial T}{\partial x} + V_y \frac{\partial T}{\partial y} = a \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \\ V_x \frac{\partial m_1}{\partial x} + V_y \frac{\partial m_1}{\partial y} = D \frac{\partial^2 m_1}{\partial y^2} \end{cases} \quad (15)$$

Всі фізичні властивості пара, входять в ці рівняння, вважаються постійними, виключаючи щільність суміші  $\rho$ .

Полагаючи, що двохкомпонентна парова суміш підчиняється рівнянню стану

$$p = Z \rho R T.$$

И коефіцієнт стислимих  $Z$  рівний  $Z_0$ , можна отримати, що

$$1 - \frac{\rho_0}{\rho} = A_m \frac{m_{n1} - m_{n10}}{m_{n1zp} - m_{n10}} + A_T \frac{T - T_0}{T_{zp} - T_0} - A_m A_T \frac{m_{n1} - m_{n10}}{m_{n1zp} - m_{n10}} \cdot \frac{T - T_0}{T_{zp} - T_0},$$

де  $A_m = \frac{(M_1 - M_2) \cdot (m_{n1zp} - m_{n10})}{M_1 - m_{n10} \cdot (M_1 - M_2)}$ ,  $M$  — молекулярна маса;

$$A_T = \frac{T_0 - T_{zp}}{T_0}.$$

Рівняння (15) допускає перетворення цих рівнянь в частні похідні к системі звичайних диференціальних рівнянь.

Вводиться незалежна змінна (автомоделное перетворення)

$$\eta = \frac{c \cdot (y - \delta)}{x^{1/4}}, \quad (16)$$

де  $c = (g A_m / 4 v^2)^{1/4}$ .

Вводяться також нові невідомі функції

$$f(\eta) = \frac{\Psi}{4 c v x^{3/4}}, \quad \Psi - \text{функція току } (V_x = \frac{\partial \Psi}{\partial y}, V_y = -\frac{\partial \Psi}{\partial x}), \quad (17)$$

$$\varphi(\eta) = \frac{m_{n1} - m_{n10}}{m_{n2p} - m_{n10}}, \quad (18)$$

$$\theta(\eta) = \frac{T_0 - T}{T_0 - T_{2p}}. \quad (19)$$

В результате, уравнения (15) в новых переменных приводятся к системе

$$f''' + 3f f'' - 2(f')^2 + \varphi + \theta \frac{A_T}{A_m} - \varphi \theta A_T = 0; \quad (20)$$

$$\varphi'' + 3Pr_D f \varphi' = 0; \quad (21)$$

$$\theta'' + 3Pr \theta' = 0. \quad (22)$$

К уравнениям (20) — (22) нужно добавить граничные условия и условия сопряжения на поверхности раздела. Последние условия можно задать, используя уравнения сохранения массы, количества движения и энергии. Конкретизируем эти условия. Предварительно запишем уравнения потока масс через поверхность раздела  $y = \delta$ .

Составляющие скорости  $V_x$  и  $V_y$  получаются дифференцированием функции тока

$$V_x = 4\sqrt{c^2 x^{1/2}} f', \quad V_y = \frac{\sqrt{c}}{x^{1/4}} \left( \frac{c y}{x^{1/4}} f' - 3f' \right). \quad (23)$$

Плотность потока массы первого компонента (аммиака) через свободную поверхность конденсата есть сумма потоков, переносимых диффузией и конвекцией

$$j_{12p} = \rho_1 \cdot \left( V_x \frac{d\delta}{dx} - V_y \right)_{2p} - \rho D \cdot \left( \frac{\partial m_{n1}}{\partial y} \right)_{2p}. \quad (24)$$

Подстановка переменных даёт

$$j_{12p} = \left[ \varphi'(0) + 3f(0)Pr_D \cdot \left( \frac{m_{n12p}}{m_{n12p} - m_{n10}} \right) \right] \cdot \rho D (m_{n12p} - m_{n10}) c x^{-1/4}. \quad (25)$$

Аналогично, для второго компонента

$$j_{22p} = \left[ -\varphi'(0) + 3f(0)Pr_D \cdot \left( \frac{1 - m_{n12p}}{m_{n12p} - m_{n10}} \right) \right] \cdot \rho D (m_{n12p} - m_{n10}) c x^{-1/4}. \quad (26)$$

Суммируя  $j_{12p}$  и  $j_{22p}$ , находим плотность потока массы обоих компонент на поверхности разрыва

$$j_{2p} = 3\mu c x^{-1/4} f(0). \quad (27)$$

В уравнения (24) — (27) входят только теплофизические свойства пара.

Согласно условию задачи содержание первого компонента (аммиака)  $m_{n10}$  определяется по заданной температуре насыщения  $T_0$ .

Теперь условие равновесия на поверхности разрыва можно сформулировать следующим образом:

$$\frac{m_{жс12p}}{m_{жс22p}} = \frac{j_{12p}}{j_{22p}}. \quad (28)$$

Используя уравнения (25) и (26), последнее условие запишется как

$$\frac{m_{жс12p}}{m_{жс22p}} = \frac{\varphi(0) + 3f(0)Pr_D \left( \frac{m_{n12p}}{m_{n12p} - m_{n10}} \right)}{-\varphi(0) + 3f(0)Pr_D \left( \frac{1 - m_{n12p}}{m_{n12p} - m_{n10}} \right)}. \quad (29)$$

Решения уравнений (22) — (24) проводится численным методом Рунге-Кутты, используя математический пакет MatLab.

В области отсутствия теплоизоляции имеет место однофазный поток хладагента (аммиака). Здесь используется, при математическом описании движения паровой среды уравнения пограничного слоя, а теплообмен с окружающей средой описывается уравнениями конвективного теплообмена, с учётом переменной по высоте температуры стенки. Для данной области решения уравнений в частных производных проводится методом конечных элементов, используя математический пакет FemLab.

Результаты расчётов приведены в табл. 3.

Таблица 3 – Основные расчетные параметры режима работы дефлегматора при номинальной тепловой нагрузке генератора АХА

№	Участок дефлегматора	Температура, °С	Концентрация аммиака, кг/кг смеси	Массовый расход, кг/с
1	Вход паровой смеси в дефлегматор	114,36	0,94	$1,696 \cdot 10^{-5}$
2	Выход флегмы из дефлегматора	126,96	0,36	$0,1585 \cdot 10^{-5}$
3	Выход паров аммиака из дефлегматора (вход в конденсатор)	46,04	1	$1,538 \cdot 10^{-5}$

Приведенные в табл. 3 результаты расчетов удовлетворительно согласуются с данными экспериментальных исследований серийных АХП типа «Киев» АШ-35.

#### Выводы

1. Предложена методика расчёта генераторного узла АХА на основе математического моделирования процессов конденсации паров воды и частично паров аммиака на внутренней поверхности подъемного канала дефлегматора из пароаммиачной смеси. При этом предполагается известным распределение температуры стенки вертикального канала дефлегматора и температура и концентрация пароаммиачной смеси на входе в дефлегматор.

2. В области отсутствия теплоизоляции имеет место однофазный поток хладагента (аммиака). Для данной области решения уравнений в частных производных проводится методом конечных элементов, используя математический пакет FemLab.

3. Проведенные в работе теоретические исследования позволяют на основе экспериментальных значений температуры наружной стенки генераторного узла, установить все характеристики двухфазного потока дефлегматора (расход, температура, состав) в любом сечении подъемного участка.

4. В дальнейших исследованиях предполагается обобщить результаты испытаний типовых моделей АХА и на их основе разработать универсальную методику расчета дефлегматора АХА, на основе которой можно будет разработать систему управления энергосберегающими режимами АХП.

#### Литература

1. Тітлов О.С. Науково-технічні основи створення енергозберігаючих побутових абсорбційних холодильних приладів [Текст] / О.С. Тітлов, М.Д. Захаров // Наукові праці Одеської національної академії харчових технологій. – 2009. – № 35. – Т.1. – С. 113–127.
2. Титлов А.С. Оптимизация температурно-энергетических характеристик абсорбционно-диффузионных холодильных агрегатов и аппаратов бытовой техники на их основе [Текст] / А.С. Титлов, Ю.С. Ботук, А.В. Мазур, В.В. Завертанный // Тепловые режимы и охлаждение радиоэлектронной аппаратуры. – 1995. – № 1 – 2. – С. 69-78.
3. Пат. №2350857, Российская Федерация, МПК F 25 В 15/10. Способ работы абсорбционного холодильного агрегата / В.В. Ильиных (Россия), А.С. Титлов (Украина), Д.Н. Ивакин (Россия), Г.И. Овечкин, А.А. Кишкин – СибГАУ; № 2007116257/06; заявл. 28.04.2007; опубл. 27.03.2009, Бюл. № 9.
4. Титлов А.С. Экспериментальные исследования температурно-энергетических характеристик низкотемпературных камер на основе АДХМ [Текст] / А.С. Титлов, В.В. Завертанный, О.Б. Васылив, Л.Р. Ленский // Тепловые режимы и охлаждение радиоэлектронной аппаратуры. – 1998. – №1. – С. 60-67.
5. Васылив О.Б. Поиск энергосберегающих режимов работы серийных абсорбционных холодильных аппаратов [Текст] / О.Б. Васылив, А.С. Титлов // Холодильная техника и технология. – 1999. – №60. – С. 28-37.
6. Тітлов О.С. Оптимізація режимів роботи абсорбційних холодильних апаратів різного функціонального призначення [Текст] / О.С. Тітлов, Д.С. Тюхай, О.Б. Василів, О.В. Мазур // Наукові праці Одеської національної академії харчових технологій. – 2003. – № 26. – С. 208-213.
7. Исаченко В.П. Теплообмен при конденсации [Текст] : монография / В.П. Исаченко. – М.: Энергия, 1977. – 240 с.