

УДК 66.081.63

DOI: 10.20310/1810-0198-2017-22-5-1154-1160

РАСЧЕТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ И КОНСТРУКТИВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК НАНОФИЛЬТРАЦИОННОГО И ЭЛЕКТРОНАНОФИЛЬТРАЦИОННОГО АППАРАТА ПЛОСКОКАМЕРНОГО ТИПА

© О.А. Ковалева

Тамбовский государственный технический университет
392000, Российская Федерация, г. Тамбов, ул. Советская, 106
E-mail: solomina-oa@yandex.ru

Представлен расчет технологических и конструктивных характеристик наночистотного и электронаночистотного аппарата плоскокамерного типа. Представлены результаты аппроксимации экспериментальных данных по удельному потоку при наночистотном и электронаночистотном разделении растворов гальванических производств. Рассчитаны площади прикатодных и прианодных мембран при проведении процесса электронаночистотного разделения растворов гальванических производств.

Ключевые слова: расчет; аппарат; разделение

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время электромембранные и электробаромембранные методы разделения сточных вод и технологических растворов являются особенно востребованными, так как появляются новые производства и совершенствуются старые (гальванотехника, теплоэнергетика, биохимические производства и др.), которые требуют дифференцированного отвода групп катионов и анионов веществ перед их дальнейшей переработкой [1–2].

В гальванотехнике, также как и в биохимических производствах, при обработке сточных вод необходимы простые и надежные методики расчета конструкций аппаратов плоскокамерного типа, использующие наночистотные мембраны. На практике использование плоскокамерных электромембранных и электробаромембранных аппаратов востребовано тем, что для данных устройств можно обеспечить хорошую и в достаточной степени простую уплотняющую способность основных элементов (камер корпуса, фланцев) аппарата между собой при помощи прокладок из паронита. Поэтому следует подробно остановиться на методике расчета основных конструктивных и технологических характеристик электронаночистотного аппарата [3] (рис. 1) и на аппроксимации экспериментальных данных по основным проницаемым характеристикам [4].

Стоит отметить, что аппарат, основанный на данных принципах разделения [3], отличается от аппарата, представленного в работе [5], тем, что в нем используются одновременно два типа полупроницаемых перегородок – прикатодная и прианодная.

НАНОФИЛЬТРАЦИОННЫЙ АППАРАТ (НАНОФИЛЬТРАЦИЯ)

Общая площадь мембран для разделения в наночистотном аппарате плоскокамерного типа рас-

считывается аналогично работе [6] с учетом конструктивных особенностей (рис. 1).

$$F = 12F_{\text{п}} - 10F_{\text{э,щ}} - 2F_{\text{в,о}} - 2F_{\text{к.д.э.в.о}}, \quad (1)$$

где $F_{\text{п}}$ – площадь поверхности элементов мембраны, м^2 ; $F_{\text{э,щ}}$ – площадь эллиптических щелей, м^2 ; $F_{\text{в,о}}$ – площадь входного (выходного) отверстия, м^2 ; $F_{\text{к.д.э.в.о}}$ – площадь кольцевого диэлектрического элемента входного (выходного) отверстия, м^2 .

Далее площадь поверхности мембраны делится на участки, в соответствии со схемой аппарата, представленного на рис. 2 [6].

Разделив площадь поверхности элементов мембраны на участки согласно рис. 2, получим [6]:

$$F_{\text{п}} = F_{\text{пр.1}} + 3F_{\text{г.э}} + 2F_{\text{пр.2}} + F_{\text{пр.3}}, \quad (2)$$

где $F_{\text{пр.1}}$, $F_{\text{пр.2}}$, $F_{\text{пр.3}}$ – площади первого, второго и третьего прямых участков мембраны, м^2 ; $F_{\text{г.э}}$ – площадь гнутого элемента мембраны, м^2 .

Площади первого, второго и третьего прямых участков мембраны соответственно [6]:

$$F_{\text{пр.1,2,3}} = ab_{\text{пр.1,2,3}}, \quad (3)$$

где a – ширина мембраны, м; $b_{\text{пр.1,2,3}}$ – длина соответствующего прямого участка мембраны, м.

Тогда площадь гнутого элемента мембраны будет [6]:

$$F_{\text{г.э}} = 2F_{\text{пр.г}} + F_{\text{п.о}}. \quad (4)$$

Площадь прямого участка гнутого элемента мембраны [6]:

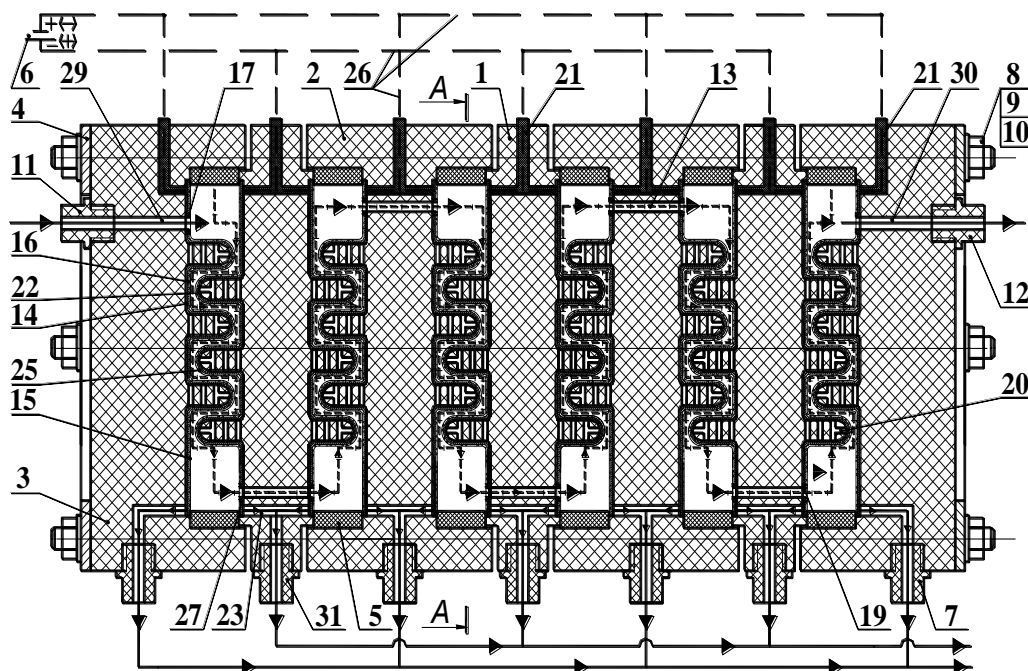


Рис. 1. Схема электронанофильтрационного аппарата плоскокамерного типа

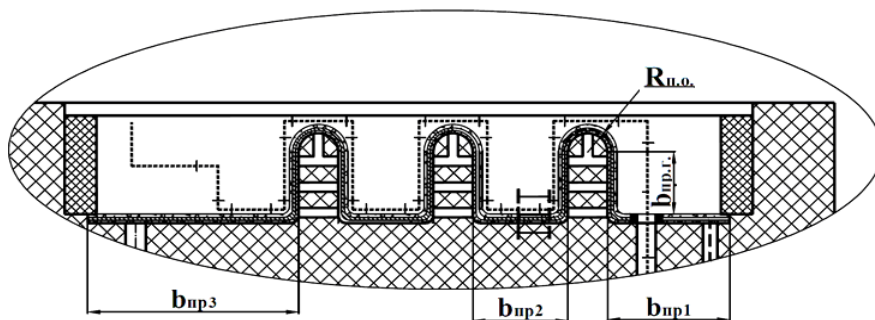


Рис. 2. Обозначение участков мембраны (повернуто) [6]

$$F_{пр.г} = ab_{пр.г}, \quad (5)$$

где $b_{пр.г}$ – длина прямого участка гнутого элемента мембраны, м.

Площадь участка гнутого элемента мембраны в форме полуокружности с учетом длины элемента этой же формы [6]:

$$F_{п.о} = ab_{п.о} = a\pi R_{п.о}, \quad (6)$$

где $b_{п.о} = \pi R_{п.о}$ – длина элемента в форме полуокружности, м, $R_{п.о}$ – радиус элемента в форме полуокружности, м.

Подстановка выражений (5) и (6) в формулу (4) приводит к виду [6]:

$$F_{г.э} = 2ab_{пр.г} + a\pi R_{п.о}. \quad (7)$$

Тогда общая площадь поверхности мембран, разделенная на участки (2), преобразуется с учетом подстановки выражений (3), (7) к следующему виду [6]:

$$F_{п} = ab_{пр.1} + 3(2ab_{пр.г} + a\pi R_{п.о}) + 2ab_{пр.2} + ab_{пр.3}. \quad (8)$$

Площадь эллиптической щели рассчитывается по формуле (9), согласно размерам участков эллиптической щели и конструктивных особенностей элементов аппарата рис. 3 [6]:

$$F_{э.щ} = 2F_{прям} + F_{окр.1}. \quad (9)$$

Площадь прямоугольного участка эллиптической щели [6]:

$$F_{прям} = a_{прям} b_{прям}, \quad (10)$$

где $a_{прям}$, $b_{прям}$ – длина, ширина прямоугольного участка эллиптической щели, м.

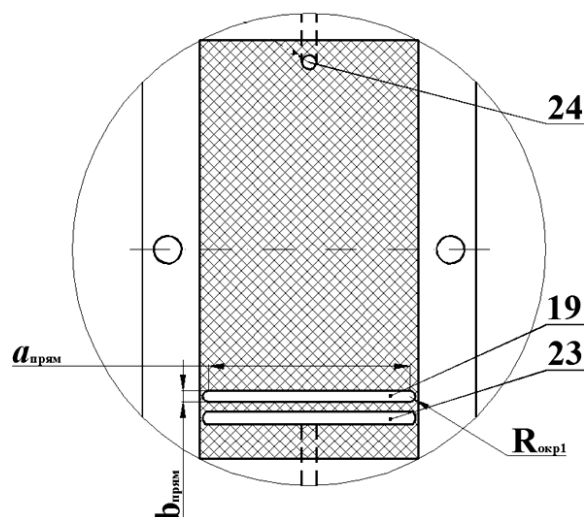


Рис. 3. Обозначение элементов эллиптической щели [6]

Площадь окружности, являющейся суммой двух полуокружностей по бокам эллиптической щели [6]:

$$F_{\text{окр.1}} = \pi R_{\text{окр.1}}^2, \quad (11)$$

где $R_{\text{окр.1}}$ – радиус окружности, м.

Тогда формула (9) подстановкой выражений (10) и (11) преобразуется к следующему виду [6]:

$$F_{\text{э.щ}} = a_{\text{прям}} b_{\text{прям}} + \pi R_{\text{окр.1}}^2. \quad (12)$$

Площади входного (выходного) отверстий для протекания раствора рассчитывали соответственно по формуле [6]:

$$F_{\text{в.о}} = \pi R_{\text{в.о}}^2, \quad (13)$$

где $R_{\text{в.о}}$ – радиус входного (выходного) отверстия, м².

С учетом того, что ($F_{\text{к.д.э.в.о}}$) – площадь кольцевого диэлектрического элемента входного (выходного) отверстия для протекания исходного раствора (ретентата) согласно [5] необходимо заполнять герметизирующей заливкой, для предотвращения проникновения исходного раствора (ретентата) в пермеат, то формула расчета будет выглядеть следующим образом:

$$F_{\text{к.д.э.в.о}} = \pi(R_k^2 - R_{\text{в.о}}^2), \quad (14)$$

где R_k – внешний радиус окружности кольцевого диэлектрического элемента входного (выходного) отверстия, м.

Учет удвоенной площади под диэлектрический элемент ($2F_{\text{к.д.э.в.о}}$) вызван тем, что $2F_{\text{к.д.э.в.о}} > 2F_{\text{в.о}}$.

Таким образом, формула (1) для расчета общей площади мембран в нанофильтрационном аппарате при подстановке выражений (8), (12–14) преобразуется к формуле вида (15) и рассчитывается по значениям конструктивных параметров нанофильтрационного аппарата плоскокамерного типа (табл. 1):

$$F = 12(ab_{\text{пр.1}} + 3(2ab_{\text{пр.г}} + a\pi R_{\text{п.о}}) + 2ab_{\text{пр.2}} + ab_{\text{пр.3}}) - 10(a_{\text{прям}}b_{\text{прям}} + \pi R_{\text{окр.1}}^2) - 2\pi R_{\text{в.о}}^2 - 2\pi(R_k^2 - R_{\text{в.о}}^2). \quad (15)$$

Общий расход пермеата в аппарате при учете оттока через все мембраны ОПМН-П (АМН-П) при разделении гальванических растворов рассчитывается по формуле [7] (16):

$$L_{\text{п}} = J \cdot F, \quad (16)$$

где J – удельный поток растворителя, м³/м²·с.

Таблица 1

Конструктивные параметры нанофильтрационного аппарата плоскокамерного типа [6]

Параметр	Тип мембраны				
	ОПМН-П	АМН-П	ОПМН-П	АМН-П	
Исходные данные					
Типовые условия		1		2	
Константа проницаемости мембраны по дистиллированной воде α , м ³ /(м ² ·с·МПа)	2,78·10 ⁻⁵	1,67·10 ⁻⁵	2,78·10 ⁻⁵	1,67·10 ⁻⁵	
Ширина мембраны a , м	0,1	0,1	0,15	0,15	
Длина первого прямого участка мембраны $b_{\text{пр.1}}$, м	0,15	0,15	0,2	0,2	
Длина прямого участка гнутого элемента мембраны $b_{\text{пр.г}}$, м	0,075	0,075	0,1	0,1	
Радиус элемента в форме полуокружности $R_{\text{п.о}}$, м	0,025	0,025	0,03	0,03	
Длина второго прямого участка мембраны $b_{\text{пр.2}}$, м	0,1	0,1	0,15	0,15	
Длина третьего прямого участка мембраны $b_{\text{пр.3}}$, м	0,2	0,2	0,3	0,3	
Длина прямоугольной части эллиптической щели $a_{\text{прям}}$, м	0,07	0,07	0,1	0,1	
Ширина прямоугольной части эллиптической щели $b_{\text{прям}}$, м	0,005	0,005	0,005	0,005	
Радиус окружности, являющейся суммой двух полуокружностей по бокам эллиптической щели $R_{\text{окр.1}}$, м	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025	
Радиус входного или выходного отверстия $R_{\text{в.о}}$, м	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025	
Внешний радиус окружности кольцевого диэлектрического элемента входного (выходного) отверстия R_k , м	0,005	0,005	0,005	0,005	

Удельный поток растворителя в формуле (16) рассчитывается на основе аппроксимации экспериментальных данных по нанофильтрационному разделению технологического раствора гальванического производства, полученных в работе [4].

При учете того, что $J = f(P, T, c, \rho_{H_2O}, i, i_{\text{пром.уст.}})$, получим расчетную формулу для удельного потока растворителя:

$$J = \alpha \cdot n \cdot \left(\Delta P - \left(\frac{c \cdot T}{T_0 \cdot \rho_{H_2O}} \right)^m + \left(\frac{i}{i_{\text{пром.уст.}}} \right)^k \right). \quad (17)$$

При следующих действующих условиях при нанофильтрационном (электронанофильтрационном) разделении:

$$\begin{aligned} i &= 0, \quad i_{\text{пром.уст.}} > 0, \quad k > 0 \\ (i > 0, \quad i_{\text{пром.уст.}} > 0, \quad k > 0) \end{aligned} \quad (18)$$

где α – гидродинамическая проницаемость пористой мембраны используемого типа [8], $\text{м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{с} \cdot \text{МПа}$; P – рабочее давление, МПа; $c = \sum_{j=1}^z c_j$ – концентрация

компонентов в растворе, $\text{кг}/\text{м}^3$; z – количество компонентов в растворе; T – температура раствора при разделении раствора, К; $T_0 = 293$ – принятая (реперная) температура раствора, К; ρ_{H_2O} – принятая плотность раствора (воды) при соответствующей температуре, $\text{кг}/\text{м}^3$; i – плотность тока при проведении эксперимента, $\text{А}/\text{м}^2$; $i_{\text{пром.уст.}}$ – плотность тока для промышленной установки (принимается характерной для электродиализных

установок – $90 \text{ А}/\text{м}^2$ [9]); n, m, k – эмпирические коэффициенты.

Для формулы (17) при проведении нанофильтрационного разделения технологических растворов гальванических производств значение отношения плотностей постоянного электрического тока при действии условий

$$(18) \left(\frac{i}{i_{\text{пром.уст.}}} \right)^k = 0, \text{ так как на разделительный}$$

аппарат не накладывается разность электрических потенциалов.

Эмпирические коэффициенты уравнения (17) при нанофильтрационном разделении растворов приведены в табл. 2.

Отклонение расчетных значений удельного потока от экспериментальных при нанофильтрации не превышает $\pm 14\%$.

Таким образом, общий расход пермеата, рассчитываемый по формуле (16) для нанофильтрационного аппарата при учете эмпирической зависимости удельного потока растворителя (17), условий (18) выглядит следующим образом:

$$\begin{aligned} L_{\text{п}} &= \alpha \cdot n \cdot \left(\Delta P - \left(\frac{c \cdot T}{T_0 \cdot \rho_{H_2O}} \right)^k \right) \times \\ &\times (12(ab_{\text{пр.1}} + 3(2ab_{\text{пр.г}} + a\pi R_{\text{п.о}}) + 2ab_{\text{пр.2}} + ab_{\text{пр.3}}) - \\ &- 10(a_{\text{прям}}b_{\text{прям}} + \pi R_{\text{окр.1}}^2) - 2\pi R_{\text{в.о}}^2 - 2\pi(R_k^2 - R_{\text{в.о}}^2)). \end{aligned} \quad (19)$$

Стоит учитывать, что особенность конструкции аппарата, представленной в работе [3], является несколько выигрышной, чем аппарат, приведенный в работах [5–6], из-за того, что отпадает необходимость герметизации дополнительных элементов, расположенных на мембране,

Таблица 2

Значения эмпирических коэффициентов n, m, k для уравнения (17)

Процесс разделения	Мембрана	n	m	k
Нанофильтрация	ОПМН-П	0,42	-2,56	–
	АМН-П	0,43	-2,53	–

Таблица 3

Результаты расчета общей площади мембран и расхода пермеата для нанофильтрационного аппарата плоскокамерного типа при рабочем давлении $\Delta P = 1,0-1,6 \text{ МПа}$ (вариант однотипных мембран с обеих сторон межмембранного канала)

Параметр	ОПМН-П	АМН-П	ОПМН-П	АМН-П
	1		2	
Типовые условия				
Рабочее давление, ΔP	1,0			
Общая площадь мембран $F, \text{ м}^2$	1,48	1,48	3,0	3,0
Общий расход пермеата $L_{\text{п}}, \text{ м}^3/\text{с}$	$1,75 \cdot 10^{-5}$	$1,06 \cdot 10^{-5}$	$3,54 \cdot 10^{-5}$	$2,15 \cdot 10^{-5}$
Рабочее давление, ΔP	1,2			
Общий расход пермеата $L_{\text{п}}, \text{ м}^3/\text{с}$	$2,10 \cdot 10^{-5}$	$1,27 \cdot 10^{-5}$	$4,26 \cdot 10^{-5}$	$2,59 \cdot 10^{-5}$
Рабочее давление, ΔP	1,4			
Общий расход пермеата $L_{\text{п}}, \text{ м}^3/\text{с}$	$2,45 \cdot 10^{-5}$	$1,49 \cdot 10^{-5}$	$4,97 \cdot 10^{-5}$	$3,02 \cdot 10^{-5}$
Рабочее давление, ΔP	1,6			
Общий расход пермеата $L_{\text{п}}, \text{ м}^3/\text{с}$	$2,80 \cdot 10^{-5}$	$1,70 \cdot 10^{-5}$	$5,68 \cdot 10^{-5}$	$3,45 \cdot 10^{-5}$

и, соответственно, уменьшается вероятность подтекания разделяемого раствора в поток пермеата.

Результаты расчета общей площади мембран (15) при учете значений конструктивных параметров (табл. 1) и расхода пермеата по выражению (19) для нанофильтрационного аппарата плоскокамерного типа представлены в табл. 3.

ЭЛЕКТРОНАНОФИЛЬТРАЦИОННЫЙ АППАРАТ

Общая площадь прианодных мембран на основе конструктивных особенностей устройства для электронанофильтрационного разделения технологических растворов (рис. 1) определяется по формуле:

$$F^+ = 6F_{\Pi} - 4F_{\text{э.ц}} - 2F_{\text{в.о}} - 2F_{\text{к.д.э.в.о}}, \quad (20)$$

Общая площадь прикатодных мембран в таком случае вычисляется на основе конструктивных особенностей аппарата (рис. 1) по формуле:

$$F^- = 6F_{\Pi} - 6F_{\text{э.ц}}. \quad (21)$$

Перепишем формулу (20) для общей площади прианодных мембран с учетом значений площади составляющих ее элементов:

$$F^+ = 6(ab_{\text{пр.1}} + 3(2ab_{\text{пр.г}} + a\pi R_{\text{п.о}}) + 2ab_{\text{пр.2}} + ab_{\text{пр.3}}) - 4(a_{\text{прям}}b_{\text{прям}} + \pi R_{\text{окр.1}}^2) - 2\pi R_{\text{в.о}}^2 - 2\pi(R_k^2 - R_{\text{в.о}}^2). \quad (22)$$

Аналогичные рассуждения касаются общей площади прикатодных мембран:

$$F^- = 6 \left(ab_{\text{пр.1}} + 3(2ab_{\text{пр.г}} + a\pi R_{\text{п.о}}) + 2ab_{\text{пр.2}} + ab_{\text{пр.3}} \right) - 6(a_{\text{прям}}b_{\text{прям}} + \pi R_{\text{окр.1}}^2) \quad (23)$$

Общий расход пермеата L_n^+ на основе формул (16), (17) и условий (18) для прианодных мембран (20) будет выглядеть следующим образом (24):

$$L_n^+ = \left(\alpha \cdot n \cdot \left(\Delta P - \left(\frac{c \cdot T}{T_0 \cdot \rho_{\text{H}_2\text{O}}} \right)^m + \left(\frac{i}{i_{\text{пром.уст}}} \right)^k \right) \right) \times \left[6(ab_{\text{пр.1}} + 3(2ab_{\text{пр.г}} + a\pi R_{\text{п.о}}) + 2ab_{\text{пр.2}} + ab_{\text{пр.3}}) - 4(a_{\text{прям}}b_{\text{прям}} + \pi R_{\text{окр.1}}^2) - 2\pi R_{\text{в.о}}^2 - 2\pi(R_k^2 - R_{\text{в.о}}^2) \right] \quad (24)$$

Таблица 4

Значения эмпирических коэффициентов n , m , k для уравнения (17)

Процесс разделения	Мембрана	n	m	k
Электронанофильтрация	АМН-П (прианодная)	0,346	-3,060	0,512
	ОПМН-П (прикатодная)	0,349	-3,033	0,790

Таблица 5

Результаты расчета общей площади разделения прианодных и прикатодных мембран (22), (23) и расхода прианодного, прикатодного пермеата (24), (25) электронанофильтрационного аппарата плоскокамерного типа

Параметр	ОПМН-П (-)		АМН-П (+)	
	1	2	1	2
Типовые условия				
Рабочее давление, ΔP	1,0			
Общая площадь мембран F , м ²	0,74	0,74	1,5	1,5
Расход прианодного пермеата L_n^+ , м ³ /с	-	$6,52 \cdot 10^{-6}$	-	$1,32 \cdot 10^{-5}$
Расход прикатодного пермеата L_n^- , м ³ /с	$9,87 \cdot 10^{-6}$	-	$2,0 \cdot 10^{-5}$	-
Рабочее давление, ΔP	1,2			
Расход прианодного пермеата L_n^+ , м ³ /с	-	$7,37 \cdot 10^{-6}$	-	$1,49 \cdot 10^{-5}$
Расход прикатодного пермеата L_n^- , м ³ /с	$1,13 \cdot 10^{-5}$	-	$2,29 \cdot 10^{-5}$	-
Рабочее давление, ΔP	1,4			
Расход прианодного пермеата L_n^+ , м ³ /с	-	$8,23 \cdot 10^{-6}$	-	$1,67 \cdot 10^{-5}$
Расход прикатодного пермеата L_n^- , м ³ /с	$1,27 \cdot 10^{-5}$	-	$2,58 \cdot 10^{-5}$	-
Рабочее давление, ΔP	1,6			
Расход прианодного пермеата L_n^+ , м ³ /с	-	$9,08 \cdot 10^{-6}$	-	$1,84 \cdot 10^{-5}$
Расход прикатодного пермеата L_n^- , м ³ /с	$1,42 \cdot 10^{-5}$	-	$2,87 \cdot 10^{-5}$	-

Общий расход пермеата L_n^- на основе формул (16), (17) и условий (18) для прикатодных мембран (23) будет выглядеть следующим образом:

$$L_n^- = \left(\alpha \cdot n \cdot \left(\Delta P - \left(\frac{c \cdot T}{T_0 \cdot \rho_{H_2O}} \right)^m + \left(\frac{i}{i_{\text{пром.уст.}}} \right)^k \right) \right) \times \left[6(ab_{\text{пр.1}} + 3(2ab_{\text{пр.г}} + a\pi R_{\text{п.о}}) + 2ab_{\text{пр.2}} + ab_{\text{пр.3}}) - 6(a_{\text{прям}}b_{\text{прям}} + \pi R_{\text{окр.1}}^2) \right] \quad (25)$$

Для формул (24), (25) согласно условий (18) и проведения электронанофильтрационного разделения технологических растворов гальванических производств

отношение $\left(\frac{i}{i_{\text{пром.уст.}}} \right)^k \neq 0$, так как на разделительный аппарат накладывается разность электрических потенциалов.

Эмпирические коэффициенты уравнения (17) при электронанофильтрационном разделении растворов гальванических производств приведены в табл. 4. Рассчитанные отклонения экспериментальных значений от расчетных для удельного потока по уравнению (17) при электронанофильтрации гальванических сточных вод не превышают $\pm 11\%$.

Результаты расчета общей площади прианодных и прикатодных мембран (22), (23), а также расхода прианодного и прикатодного пермеата для электронанофильтрационного аппарата плоскокамерного типа, при расположении около анода и катода мембран АМН-П и ОПМН-П соответственно, представлены в табл. 5).

В заключение работы стоит отметить, что полученные на основе анализа экспериментальных данных аппроксимационные зависимости по удельному потоку растворителя можно использовать при известных геометрических характеристиках нанофильтрационных и электронанофильтрационных аппаратов для расчета производительности по пермеату для прикатодного и

прианодного пермеата. Стоит отметить, что при масштабном переходе реальная гидродинамика аппарата может несколько снижать движущую силы процесса, при этом предлагается корректировать ее снижение через поддержание в аппарате установленного постоянного перепада движущих сил процесса (давления, электрического потенциала) и скорости потока (циркуляции в межмембранном канале).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Копылов А.С., Лавыгин В.М., Очков В.Ф. Водоподготовка в энергетике: учеб. пособие для вузов. М.: Изд-во МЭИ, 2003. 309 с.
2. Ковалев С.В. Электробаромембранный аппарат трубчатого типа с дифференцированным выделением ионов // Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2014. № 4. С. 27-29.
3. Попов Р.В., Ковалева О.А., Ковалев С.В., Лазарев Д.С. Применение аппарата плоскокамерного типа для мембранного разделения технологических растворов химических производств // Современные твердофазные технологии: теория, практика и инновационный менеджмент: материалы 8 Междунар. научно-инновац. молодеж. конф. Тамбов: Изд-во ИП Чеснокова А.В., 2016. С. 305-307.
4. Ковалева О.А., Лазарев С.И., Ковалев С.В., Попов Р.В. Практическое применение баромембранных и электробаромембранных методов разделения технологических растворов химических производств // Физическая и коллоидная химия – основа новых технологий и современных методов анализа в химической и пищевой отраслях промышленности: материалы Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Воронеж: ВГУИТ, 2016. С. 121-124.
5. Патент 2447930 Российская Федерация, МПК В 01 D 61/42, В 01 D 61/14. Электробаромембранный аппарат плоскокамерного типа / Ковалев С.В., Лазарев С.И., Кормильцин Г.С., Лазарев К.С., Ковалева Т.Д., Ворожейкин Ю.А., Эрлих А.В.; заявитель и патентообладатель ТГТУ. № 2010144096/05; заявл. 27.10.2010; опубл. 20.04.2012. Бюл. № 11. 9 с.
6. Лазарев С.И., Ковалева О.А., Абоносимов О.А., Шестаков К.В., Попов Р.В. Совершенствование конструкции и методики расчета электробаромембранного аппарата плоскокамерного типа для очистки технологических растворов // Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2016. № 6. С. 12-15.
7. Борисов Г.С., Брыков В.П., Дытнерский Ю.И. и др. Основные процессы и аппараты химической технологии. Пособие по проектированию. М.: Химия, 1991. 496 с.
8. Владипор: сайт ЗАО НТЦ Владипор. URL: <http://www.vladipor.ru/> (дата обращения: 11.06.2017).
9. Гребенюк В.Д. Электродиализ. Киев: Изд-во «Техника», 1976. 160 с.

Поступила в редакцию 17 июля 2017 г.

Ковалева Ольга Александровна, Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов, Российская Федерация, кандидат технических наук, доцент, докторант НОЦ «Безотходные и малоотходные технологии», e-mail: solomina-oa@yandex.ru

Для цитирования: Ковалева О.А. Расчет технологических и конструктивных характеристик нанофильтрационного и электронанофильтрационного аппарата плоскокамерного типа // Вестник Тамбовского университета. Серия Естественные и технические науки. Тамбов, 2017. Т. 22. Вып. 5. С. 1154-1160. DOI: 10.20310/1810-0198-2017-22-5-1154-1160

For citation: Kovaleva O.A. Raschet tekhnologicheskikh i konstruktivnykh kharakteristik nanofil'tratsionnogo i elektronanofil'tratsionnogo apparata ploskokamernogo tipa [Technological and constructive performance computation of nanofiltration and electronanofiltration flat-chamber type instrument]. *Vestnik Tambovskogo universiteta. Seriya Estestvennye i tekhnicheskie nauki – Tambov University Reports. Series: Natural and Technical Sciences*, 2017, vol. 22, no. 5, pp. 1154-1160. DOI: 10.20310/1810-0198-2017-22-5-1154-1160 (In Russian, Abstr. in Engl.).

UDC 66.081.63

DOI: 10.20310/1810-0198-2017-22-5-1154-1160

TECHNOLOGICAL AND CONSTRUCTIVE PERFORMANCE COMPUTATION OF NANOFILTRATION AND ELECTRONANOFILTRATION FLAT-CHAMBER TYPE INSTRUMENT

© O.A. Kovaleva

Tambov State Technical University

106 Sovetskaya St., Tambov, Russian Federation, 392000

E-mail: solomina-oa@yandex.ru

The computation of technological and constructive characteristics of nanofiltration and electricnanofiltration flat-chamber type instrument is presented. The results of approximation of experimental data on specific flow at nanofiltration and electricnanofiltration solute partitioning of electrodeposition are presented. The surface of precathodic and anodic membranes at carrying out the process of electricnanofiltration solute partitioning of electrodeposition are calculated.

Keywords: calculation; device; partitioning

REFERENCES

1. Kopylov A.S., Lavygin V.M., Ochkov V.F. *Vodopodgotovka v energetike* [Water Treatment in Energetics]. Moscow, Moscow Power Engineering Institute Publ., 2003, 309 p. (In Russian).
2. Kovalev S.V. Elektrobromembrannyy apparat trubchatogo tipa s differentsirovannym vydeleniem ionov [Electromembrane instrument of tubular type with differentiated ion detachment]. *Khimicheskoe i neftegazovoe mashinostroenie – Chemical and Petroleum Engineering*, 2014, no. 4, pp. 27-29. (In Russian).
3. Popov R.V., Kovaleva O.A., Kovalev S.V., Lazarev D.S. Primenenie apparata ploskokamernogo tipa dlya membrannogo razdeleniya tekhnologicheskikh rastvorov khimicheskikh proizvodstv [The use of an instrument of flat-chamber type for membrane partitioning of technological solutions of chemical industry]. *Materialy 8 Mezhdunarodnoy nauchno-innovatsionnoy molodezhnoy konferentsii «Sovremennye tverdogaznye tekhnologii: teoriya, praktika i innovatsionnyy menedzhment»* [Materials of the 8th International Scientific-Innovative Youth Conference “Modern Solidphase Technologies: Theory, Practice and Innovative Management”]. Tambov, Individual Enterprise Chesnokova A.V. Publ., 2016, pp. 305-307. (In Russian).
4. Kovaleva O.A., Lazarev S.I., Kovalev S.V., Popov R.V. Prakticheskoe primeneniye baromembrannykh i elektrobromembrannykh metodov razdeleniya tekhnologicheskikh rastvorov khimicheskikh proizvodstv [Practical application of baromembrane and electrobaromembrane methods of technological solutions partitioning of chemical industries]. *Materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem «Fizicheskaya i kolloidnaya khimiya – osnova novykh tekhnologiy i sovremennykh metodov analiza v khimicheskoy i pishchevoy ot-raslyakh promyshlennosti»* [Materials of All-Russian Scientific-Practical Conference with International Participation “Physical and Colloid Chemistry – the Basis of New Technologies and Modern Methods of Analysis in Chemical and Food Industry of Production Sector”]. Voronezh, Voronezh State University of Engineering Technologies Publ., 2016, pp. 121-124. (In Russian).
5. Kovalev S.V., Lazarev S.I., Kormiltsin G.S., Lazarev K.S., Kovaleva T.D., Vorozheykin Y.A., Erlikh A.V. *Elektrobromembrannyy apparat ploskokamernogo tipa* [Electrobaromembrane instrument of flat-chamber type]. Patent RF, no. 2447930, 2012. (In Russian).
6. Lazarev S.I., Kovaleva O.A., Abonosimov O.A., Shestakov K.V., Popov R.V. Sovershenstvovaniye konstruktssii i metodiki rascheta elektrobromembrannogo apparata ploskokamernogo tipa dlya ochistki tekhnologicheskikh rastvorov [Improvement of construction and methods of calculation of electrobaromembrane instrument of flat-chamber type for cleaning of technological solutions]. *Khimicheskoe i nefte-gazovoe mashinostroenie – Chemical and Petroleum Engineering*, 2016, no. 6, pp. 12-15. (In Russian).
7. Borisov G.S., Brykov V.P., Dytnerkiy Y.I. et al. *Osnovnyye protsessy i apparaty khimicheskoy tekhnologii*. Posobie po proektirovaniyu. [Basic Processes and Instruments of Chemical Technology. A Guide to Engineering]. Moscow, Khimiya Publ., 1991, 496 p. (In Russian).
8. *Vladipor: sayt ZAO Nauchno-tekhnicheskiiy tsentr Vladipor* [Vladipor: website of ZAO scientific-technical centre Vladipor]. (In Russian). (In Russian). Available at: <http://www.vladipor.ru/> (accessed 11.06.2017).
9. Grebenyuk V.D. *Elektrodializ* [Electrodialysis]. Kiev, Tekhnika Publ., 1976, 160 p. (In Russian).

Received 17 July 2017

Kovaleva Olga Aleksandrovna, Tambov State Technical University, Tambov, Russian Federation, Candidate of Technics, Associate Professor, Doctoral Candidate of Research Educational Centre “Non-Waste and Low-Waste Technologies”, e-mail: solomina-oa@yandex.ru