

Особенности ультрафильтрационной очистки промышленных растворов крахмало-паточного производства

Сергей И. Лазарев	¹	geometry@mail.nnn.tstu.ru
Ольга А. Ковалева	¹	sseedd@mail.ru
Константин В. Шестаков	¹	kostyanshestakov@mail.ru
Константин К. Полянский	²	kkpolyansky@mail.ru

¹ Тамбовский государственный технический университет, ул. Ленинградская, 1, Тамбов, 392036, Россия

² Воронежский филиал РЭУ им. Г.В. Плеханова, ул. Карла Маркса, 67А, Воронеж, 394036, Россия

Реферат. В данной работе исследован удельный выходной поток и коэффициент задержания полупроницаемых ультрафильтрационных мембран УПМ-К, УАМ-150, УАМ-200 в процессе разделения технологических растворов крахмало-паточных производств (КПП) ОАО Хоботовское предприятие «Крахмалопродукт» низконапорным баромембранным методом. В результате анализа экспериментальных данных получены и проанализированы зависимости коэффициента задержания ультрафильтрационных мембран УПМ-К, УАМ-150, УАМ-200 при различных концентрациях растворенного вещества. Для теоретического расчета процесса ультрафильтрационного разделения технологических растворов КПП модифицированы математические выражения по коэффициенту задержания и удельному выходному потоку и получены численные значения эмпирических коэффициентов. Для ультрафильтрационного разделения технологических растворов КПП разработана технологическая схема очистки, основными разделительными элементами которой являлись фильтр предварительной очистки, биофильтр, каскад ультрафильтрационных аппаратов, центробежные и плунжерный насосы, а также адсорбционная колонна. Целесообразность применения выбранных плоскокамерных аппаратов заключается в простоте технологии их изготовления и в возможности самостоятельного выбора оптимального типа мембран. В представленных аппаратах можно использовать мембраны разных типов и в процессе оценочного эксперимента установить, насколько они соответствуют таким наиболее важным технологическим параметрам процесса, как удельный выходной поток, коэффициент задержания и устойчивость к загрязнениям. В работе отмечено, что удельный выходной поток ультрафильтрационных мембран с ростом исходной концентрации растворенного вещества уменьшается, так как повышается вязкость раствора и возрастает его осмотическое давление, а снижение коэффициента задержания ультрафильтрационных мембран вызвано формированием диффузионных пограничных слоев на активном слое мембран.

Ключевые слова: удельный выходной поток; ультрафильтрационная мембрана; коэффициент задержания; процесс; разделение

Features of ultrafiltration purification of industrial solutions of starch and treacle production

Sergei I. Lazarev	¹	geometry@mail.nnn.tstu.ru
Ol'ga A. Kovaleva	¹	sseedd@mail.ru
Konstantin V. Shestakov	¹	kostyanshestakov@mail.ru
Konstantin K. Polyanskii	²	kkpolyansky@mail.ru

¹ Tambov State Technical University, Leningradskaya str., 1, Tambov, 392036, Russia

² Voronezh Branch of RUE named after G.V. Plekhanov, Karl Marks str., 67A, Voronezh, 394036, Russia

Summary. The paper examines the specific output stream and the rate of detention of a semi-permeable ultrafiltration membranes, UPM, UAM-150, UAM-200 in the separation process, waste starch and syrup production JSC., the company "Krakhamloprodukt" low-pressure baromembrane method. As a result of the analysis of experimental data, the dependence of the retention factor of ultrafiltration membranes UPM-K, UAM-150, UAM-20 at different concentrations of the dissolved substance was obtained and analyzed. For the theoretical calculation of the process of ultrafiltration separation technology solutions of starch and syrup production modified mathematical expression for the factor of detention and the specific output stream and the numerical values of the empirical coefficients. Ultrafiltration for the separation of waste starch and syrup production the technological scheme of purification, separating the main elements of which was the pre-filter, biofilter, cascade ultrafiltration apparatus, centrifugal and plunger pumps, as well as the adsorption column. The application expediency of the selected apparatus with flat chambers lies in the simplicity of their production technology and in the self-selection possibility of optimum type membranes. It is possible in the presented apparatuses to use membranes of different types and in the course of the evaluation experiment to establish to what extent they correspond to the most important technological parameters of the process, such as specific output flow, retention factor and resistance to pollution. It is noted that the specific output flow of ultrafiltration membranes decreases with the increase of the initial concentration of the dissolved substance, as the viscosity of the solution increases and its osmotic pressure increases, and the decrease in the retention factor of ultrafiltration membranes is caused by the formation of diffusion boundary layers on the active layer of membranes.

Keywords: specific flux; ultrafiltration membrane; retention coefficient; separation process

Введение

В агропромышленных производствах при переработке кукурузы на крахмал образуются большие объемы технологических растворов, характеризующиеся содержанием взвешенных веществ, крахмала, белка и солей. Предприятие, специализирующееся на производстве крахмала,

должны помнить о переработке технологических растворов и их последующей утилизации.

Составляющими технологических растворов крахмало-паточных предприятий являются органические загрязнения и соли, которые при попадании в грунт способны засаливать плодородные земли, что в итоге приводит к деградации

Для цитирования

Лазарев С.И., Ковалева О.А., Шестаков К.В., Полянский К.К. Особенности ультрафильтрационной очистки промышленных растворов крахмало-паточного производства // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80. № 2. С. 45–50. doi:10.20914/2310-1202-2018-2-45-50

For citation

Lazarev S.I., Kovaleva O.A., Shestakov K.V., Poljanskij K.K. Features of ultrafiltration purification of industrial solutions of starch and treacle production. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2018. vol. 80. no. 2. pp. 45–50. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2018-2-45-50

растений. По сравнению с технологическими растворами картофеля-крахмального производства, технологические растворы производства кукурузного крахмала характеризуются более высокой общей концентрацией органических веществ и солей, менее кислой реакцией среды.

На предприятиях кукурузно-крахмального производства в процессе получения 1 т крахмала с использованием прямоточных систем водоснабжения расходуется 17,0 м³ технологических вод, в том числе 4,0 м³ производственных, хозяйственно-бытовых – 1,4 м³, остальных условно чистых вод – 11,6 м³, а при повторном использовании технологических вод в процессе производства глюкозы с 1 т глюкозы общее количество вод составляет 260 м³, из них 0,5 м³ – хозяйственно-бытовые, 5,5 м³ – производственные, 254 м³ – условно чистые.

Материалы и методы

В работе были проведены исследования по ультрафильтрационному разделению технологических вод крахмало-паточного производства ОАО Хоботовское предприятие «Крахмалпродукт». Продукцией завода являются сухой кукурузный крахмал и крахмальная патока. Крахмал представляет собой сухой кукурузный глютен и кукурузный зародыш. Исследуемые технологические растворы предприятия являются многокомпонентными и содержат в своем составе крахмал, белок и другие вещества, значительно отличающиеся между собой по физико-химическим свойствам. Поэтому применение для разделения технологических водных систем при использовании ультрафильтрации напрямую, без предварительной очистки, малоэффективно.

Поэтому возникает необходимость в предварительной, специальной обработке промышленных растворов до предельно – допустимых концентраций (ПДК). Также, с помощью

предварительной обработки этой системы, возможно, существенно увеличить удельный выходной поток растворителя, очищаемый через ультрафильтрационную мембрану. Биологические фильтры применяют для искусственной (биологической) очистки промышленных растворов и сточных вод, окисляя кислородом, загрязненные сточные воды при помощи микроорганизмов, которые образуют биологическую пленку на поверхности дискового фильтра.

Очистка технологических растворов проводилась с применением биоультрафильтрационной технологии (биофильтрация + ультрафильтрация процесс). Биофильтрация проводилась на пятисекционном каскадно-дисковом биофилт্রে, с вращающейся биопленкой, где эффективность очистки технологических растворов от органических веществ достигала до 98%.

Исследования процесса разделения исследуемого раствора осуществлялись на ультрафильтрационной установке с мембранами УАМ-150, УАМ-200, УПМ-К [1,2], представленной в работе.

Экспериментальные данные по ультрафильтрационному разделению технологических растворов крахмало-паточного производства приведены в таблице 1. При проведении экспериментальных исследований скорость течения раствора в межмембранном канале составляла 0,25 м/с, рабочая площадь мембран – 0,0078 м², время эксперимента – 3600 с, при фиксированном значении трансмембранного давления – 0,4 МПа. В процессе выполнения экспериментальных исследований проводился отбор проб пермеата и ретентата на анализ, измерялся объем пермеата и контролировалось трансмембранное давление и температура раствора. Общую концентрацию веществ в технологических растворах определяли по бихроматной окисляемости (ХПК) [3].

Таблица 1.

Экспериментальные и расчетные данные ультрафильтрационного разделения технологических растворов крахмало-паточных производств

Table 1.

Experimental and calculated data of ultrafiltration separation of technological solutions of starch and treacle productions

Тип мембраны Membrane type	C _{исх.} , кг/м ³ C _{in} , kg/m ³	Ультрафильтрация / Ultrafiltration			
		C _{пер} , кг/м ³ C _p , kg/m ³	V · 10 ³ , м ³ m ³	R, %	J · 10 ⁶ , м ³ /м ² с m ³ / m ² s
УПМ-КУРМ-К	2,20	1,16	0,442	47,3	15,7
	2,71	1,46	0,437	46,1	15,6
	2,84	1,56	0,432	45,1	15,4
	2,98	1,68	0,429	43,6	15,3
УАМ-150 UAM-150	2,20	1,00	0,165	54,4	5,90
	2,71	1,29	0,159	52,4	5,70
	2,84	1,38	0,155	51,4	5,50
	2,98	1,45	0,152	51,3	5,20
УАМ-200 UAM-200	2,20	1,19	0,199	45,9	7,10
	2,71	1,57	0,195	42,1	6,90
	2,84	1,63	0,193	42,6	6,80
	2,98	1,77	0,188	40,6	6,70

Удельный выходной поток определяется по следующей зависимости [2]:

$$J = \frac{V}{F_m \cdot \tau}; \quad (1)$$

где V – объем пермеата, m^3 ; τ – время проведения эксперимента, с; F_m – рабочая площадь мембраны, m^2 .

Величину коэффициента задержания исследуемых мембран рассчитывали по формуле:

$$R = \left(1 - \frac{C_{nep}}{C_{исх}}\right) \cdot 100\%, \quad (2)$$

где C_{nep} , $C_{исх}$ – концентрация растворенного вещества в пермеате и исходном растворе соответственно, kg/m^3 .

Результаты и обсуждение

На рисунках 1 и 2 представлены зависимости коэффициента задержания и удельного выходного потока от концентрации растворенных веществ в разделяемом растворе при ультрафильтрационном разделении технологических растворов крахмалопаточных производств.

Уменьшение коэффициента задержания по мере роста концентрации растворенных веществ в разделяемом растворе (рисунок 1) связано, вероятно, с образованием диффузионных пограничных слоев и уменьшением доли воды в активном слое и поровом пространстве ультрафильтрационной мембраны [4–7].

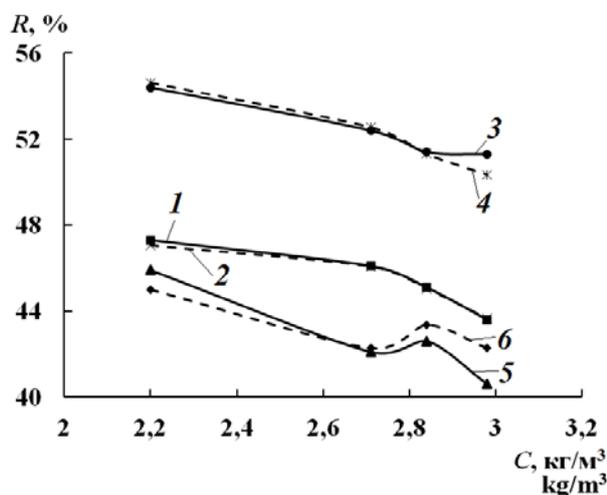


Рисунок 1. Зависимость коэффициента задержания ультрафильтрационных мембран от концентрации растворенных веществ в разделяемом растворе: 1, 2 – УПМ-К; 3, 4 – УАМ-150; 5, 6 – УАМ-200; 1, 3, 5 – эксперимент; 2, 4, 6 – расчет

Figure 1. Dependence of detention coefficient of ultrafiltration membranes on concentration of the dissolved substances in the divided solution: 1, 2 – UPM-K; 3, 4 – UAM-150; 5, 6 – UAM-200; 1, 3, 5 – experiment; 2, 4, 6 – calculation

Из рисунка 2 видно, что наибольшим удельным выходным потоком пермеата обладает полиамидная мембраны вида УПМ-К в отличие от ацетатцеллюлозных мембран типа УАМ-200 и УАМ-150. Определяющими факторами, по нашему мнению, являются толщина активного слоя мембраны, доля аморфных и кристаллических областей, размер пор и особенности их распределения по рабочей поверхности мембран. С ростом концентрации растворенных веществ в разделяемом растворе уменьшается удельный выходной поток пермеата, что объясняется возрастанием вязкости раствора и повышением осмотического давления раствора при его концентрировании.

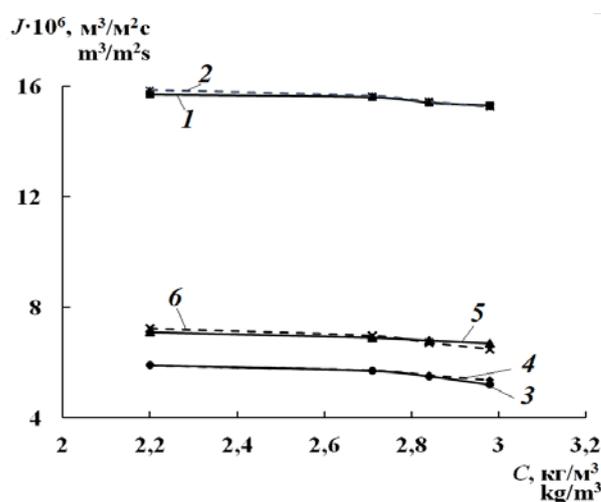


Рисунок 2. Зависимость удельного выходного потока пермеата ультрафильтрационных мембран от концентрации растворенных веществ в разделяемом растворе: 1, 2 – УПМ-К; 3, 4 – УАМ-150; 5, 6 – УАМ-200; 1, 3, 5 – эксперимент; 2, 4, 6 – расчет

Figure 2. Dependence of specific output stream of permeate of ultrafiltration membranes on concentration of dissolved substances in the separated solution: 1 – UPM-K; 2 – UAM-150; 5, 6 – UAM-200; 1, 3, 5 – experiment; 2, 4, 6 – calculation

При анализе экспериментальных данных в качестве дополнения модельных представлений, описывающих закономерности переноса растворенных веществ и растворителя, на рисунках 1 и 2 приведено сравнение экспериментальных и расчетных значений по коэффициенту задержания и удельному выходному потоку. Отклонение экспериментальных от расчетных значений исследуемых параметров составляет не более 5% (см. таблицы 2 и 3).

Таблица 2.

Сравнение экспериментальных и расчетных данных по коэффициенту задержания мембран

Table 2.

Comparison of experimental and calculated data on membrane retention factor

Тип мембраны Membrane type	$C_{исх}, \text{мг/л}$ $C_{in}, \text{mg/L}$	R, %		Погрешность, % Inaccuracy, %
		Эксперимент Experiment	Расчет Calculation	
УПМ-К UPM-K	2,2	47,3	47,04	0,550
	2,71	46,1	46,06	0,087
	2,84	45,1	45,04	0,133
	2,98	43,6	43,65	-0,115
УАМ-150 UAM-150	2,2	54,4	54,63	-0,423
	2,71	52,4	52,56	-0,305
	2,84	51,4	51,32	0,156
	2,98	51,3	50,35	1,852
УАМ-200 UAM-200	2,2	45,9	44,99	1,983
	2,71	42,1	42,27	-0,404
	2,84	42,6	43,35	-1,761
	2,98	40,6	42,27	-4,113

Таблица 3.

Сравнение экспериментальных и расчетных данных по удельному выходному потоку

Table 3.

Comparison of experimental and calculated data on the specific output flow

Тип мембраны Membrane type	$C_{исх}, \text{мг/л}$ $C_{in}, \text{mg/L}$	$J, \text{м}^3/\text{м}^2\text{с}$ $\text{m}^3/\text{m}^2\text{s}$		Погрешность, % Inaccuracy, %
		Эксперимент Experiment	Расчет Calculation	
УПМ-К UPM-K	2,2	15,7	15,86	-0,999%
	2,71	15,6	15,65	-0,331%
	2,84	15,4	15,45	-0,311%
	2,98	15,3	15,24	0,365%
УАМ-150 UAM-150	2,2	5,9	5,87	0,425%
	2,71	5,7	5,71	-0,173%
	2,84	5,5	5,54	-0,775%
	2,98	5,2	5,37	-3,372%
УАМ-200 UAM-200	2,2	7,1	7,24	-1,938%
	2,71	6,9	6,97	-1,047%
	2,84	6,8	6,73	1,089%
	2,98	6,7	6,48	3,289%

Теоретический расчет коэффициента задержания мембран проводится по формуле:

$$K = 1 - \frac{1}{1 + \left(\frac{1}{k_p \cdot k_1} - 1 \right) \left[1 - \exp\left(-\frac{J \cdot k_p \cdot k_2}{D_0} \right) \right] \cdot \exp(-J \cdot k_3)} \quad (3)$$

где k_1, k_2, k_3 – эмпирические коэффициенты.

Значения эмпирических коэффициентов формулы (3) для расчета коэффициента задержания приведены в таблице 4

Таблица 4.

Значения эмпирических коэффициентов для формулы (3)

Values of empirical coefficients for the formula (3)

Мембрана Membrane	k_1	k_2	k_3
УПМ-К	$6,8 \times 10^{-3}$	10^{-9}	10^{-2}
УАМ-150	$2,18 \times 10^{-3}$	$1,2 \times 10^{-9}$	10^{-3}
УАМ-200	$1,3 \times 10^{-3}$	$4,5 \times 10^{-9}$	$2,65 \times 10^{-1}$

Теоретический расчет удельного выходного потока проводится по формуле (4):

$$J = k(\Delta p - (B \exp(n C_{исх}) \exp(A/T))) \quad (4)$$

где B, n, A – эмпирические коэффициенты.

Значения эмпирических коэффициентов для расчета удельного выходного потока приведены в таблице 5

Таблица 5.

Значения эмпирических коэффициентов для формулы (4)

Table 5.

Values of empirical coefficients for the formula (4)

Мембрана Membrane	B	n	A
УПМ-К	$-6,8 \times 10^{-3}$	$-1,5 \times 10^{-2}$	$2,91 \times 10^{-1}$
УАМ-150	$6,5 \times 10^{-2}$	-5×10^{-3}	5×10^{-3}
УАМ-200	-9×10^{-2}	-4×10^{-2}	$-3,2 \times 10^{-1}$

На рисунке 3 представлена технологическая схема, на основе которой были проведены исследования по ультрафильтрационной очистке технологических растворов крахмало-паточного производства. Составными элементами схемы являются: емкость с исходным раствором, фильтр для предварительной очистки сточных вод, насос, каскадно-дисковый биофильтр, емкость с раствором после биофильтрации, каскад ультрафильтрационных аппаратов для разделения раствора, адсорбционная колонна, а также линия рециркуляции ретентата.

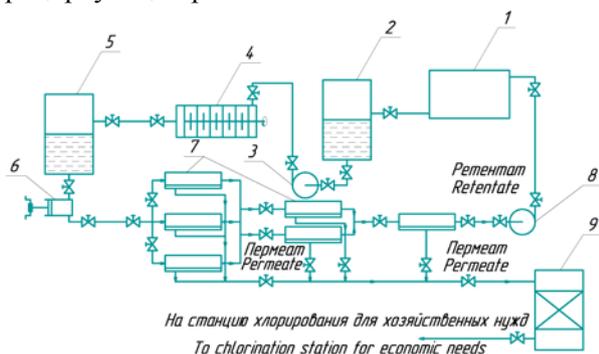


Рисунок 3. Технологическая схема очистки промышленных растворов крахмало-паточных производств биоультрафильтрационным методом

Figure 3. Technological scheme of purification of industrial solutions of starch-treacle productions by bio ultrafiltration method

Основным элементом схемы очистки являются разделительные плоскокамерные ультрафильтрационные аппараты, в которых расположены активным слоем к разделяемому раствору полупроницаемые мембраны. Простота самой технологии изготовления плоскокамерных аппаратов является неоспоримым достоинством предложенного способа очистки. Целесообразность применения этих аппаратов заключается в том, что потребитель может самостоятельно проводить выбор оптимального типа мембран. В представленной установке можно использовать мембраны разных типов и в процессе оценочного эксперимента установить, насколько они соответствуют наиболее важным технологическим параметрам процесса (удельный выходной

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Владипор: сайт НТЦ Владипор. URL: <http://www.vladipor.ru/catalog/show/&cid=003&id=1>.
- 2 Головашин В.Л., Лазарев С.И., Лавренченко А.А. Исследование кинетических коэффициентов электроультрафильтрационного разделения промышленных растворов биохимических производств // Вестник ПГУ. 2014. Т. 20. № 1. С. 86–94.
- 3 Jouanneau S., Recoules L., Durand M.J., Boukabache A. et al. Methods for assessing biochemical oxygen demand (BOD) // A review. Water Research. 2014, V. 49. P. 62–82.

поток, коэффициент задержания, устойчивость к загрязнениям и другим специфическим особенностям) при обработке растворов крахмало-паточного производства, где исходным сырьем является не только кукуруза, но картофель [8–11].

Технологическая схема очистки промышленных растворов крахмало-паточных производств работает следующим образом. Из емкости с исходным раствором 1 технологический раствор поступает в фильтр 2, осуществляющий предварительную очистку. С помощью центробежного насоса 3 раствор подается в биофильтр 4, в котором раствор частично очищается, а затем поступает в промежуточную емкость 5. Далее насосом – дозатором 3 раствор нагнетается в каскад ультрафильтрационных аппаратов, где разделяется на ретентат (сконцентрированный раствор) и пермеат (очищенный раствор). Пермеат попадает в адсорбционную колонну 7 и после хлорирования может использоваться для хозяйственных нужд. Адсорбционная колонна 9 используется для доочистки технологических вод в случае, если в пермеате содержатся органические вещества, которые не были задержаны биоультрафильтрационной системой. Ретентат центробежным насосом 9 поступает в емкость для исходного раствора по линии рециркуляции где аналогичным образом осуществляется процесс разделения.

Заключение

Неоспоримыми преимуществами биоультрафильтрационной технологии являются: высокая производительность процесса очистки раствора по пермеату удельный выходной поток; хорошее усваивание органических веществ микроорганизмами в биофильтре; решение вопроса утилизации ретентата; формирование малоотходных замкнутых технологических схем процесса очистки технологических вод крахмало-паточных производств от растворенных веществ.

Применение ультрафильтрационных полупроницаемых полимерных мембран, характеризуется высоким удельным выходным потоком пермеата, что связано с общей производительностью очистительной системы и материалоемкостью.

- 4 Karagündüz A., Dize N. Investigation of Membrane Biofouling in Cross-Flow Ultrafiltration of Biological Suspension // J MembraSciTechnol, 2013. № 3. P. 120.
- 5 Ковалева О.А., Лазарев С.И. Разделение технологических растворов крахмало-паточных производств биоультрафильтрационным методом // Наука в центральной России, 2016, № 4, P. 10–15.
- 6 Valiño V., San Román F., Ibañez R., Ortiz I. Improved separation of bovine serum albumin and lactoferrin mixtures using charged ultrafiltration membranes. Separation and Purification Technology, 2014, V. 125, P. 163–169.

7 Rohani M.M., Zydney A.L., Protein transport through zwitterionic ultrafiltration membranes // J. Membr. Sci, 2012, V. 397–398. P. 1–8.

8 Schmidt J.M., Greve-Poulsen M., Damgaard H. et al. Effect of Membrane Material on the Separation of Proteins and Polyphenol Oxidase in Ultrafiltration of Potato Fruit Juice. // FoodBioprocessTechnology, 2016, V. 9, P. 822–829.

9 Dabestania S., Arcotb J., Chena V. Protein recovery from potato processing water: Pre-treatment and membrane fouling minimization // Journal of FoodEngineering, 2017, V. 195, P. 85–96

10 Хачатрян Л.Р., Котляров Р.В., Лобасенко Б.А. Исследование технологических режимов работы мембранного аппарата при концентрировании крахмального молока // Техника и технология пищевых производств, 2015, Т. 37, № 2, С. 61–66.

11 Холов Ш.Ё., Икромии Х.И., Юнусов Н.И., Мухидинов З.К. Особенности инженерного расчета процесса ультрафильтрационного концентрирования и очистки пектиновых полисахаридов // Вестник ВГУИТ. 2017. №79(4). С. 26-30. doi: 10.20914/2310-1202-2017-4-26-30

REFERENCES

1 Website STC Vladipor [Vladipor: website NTTs Vladipor] Available at: <http://www.vladipor. EN / catalog/show/&cid = 003&id = 1> (in Russian)

2 Golovashin V.L., Lazarev S.I., Lavrenchenko A.A. Investigation of the kinetic coefficients of electroultrafiltration separation of industrial solutions for biochemical production. *Vestnik TGTU* [Proceedings of TSTU] 2014, vol. 20, no. 1, pp. 86–94. (in Russian)

3 Jouanneau S., Recoules L., Durand M.J., Boukabache A. et al. Methods for assessing biochemical oxygen demand (BOD). A review. *Water Research*, 2014, vol. 49, pp. 62–82.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Сергей И. Лазарев профессор, кафедра прикладной геометрии и компьютерной графики, Тамбовский государственный технический университет, ул. Ленинградская, 1, Тамбов, 392036, Россия, geometry@mail.nnn.tstu.ru

Ольга А. Ковалева доцент, кафедра прикладной геометрии и компьютерной графики, Тамбовский государственный технический университет, ул. Ленинградская, 1, Тамбов, 392036, Россия, sseedd@mail.ru

Константин В. Шестаков аспирант, кафедра прикладной геометрии и компьютерной графики, Тамбовский государственный технический университет, ул. Ленинградская, 1, Тамбов, 392036, Россия, kostyanshestakov@mail.ru

Константин К. Полянский профессор, кафедра коммерции и товароведения, Воронежский филиал РЭУ им. Г.В. Плеханова, ул. Карла Маркса, 67А, Воронеж, 394036, Россия, kkpolyansky@mail.ru

КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ПОСТУПИЛА 16.04.2018

ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 19.05.2018

4 Karagündüz A., Dizge N. Investigation of Membrane Biofouling in Cross-Flow Ultrafiltration of Biological Suspension. *J MembrSciTechnol*, 2013, no. 3, pp. 120.

5 Kovaleva O.A., Lazarev S.I. Separation of waste starch and syrup production biostabilization method. *Nauka v tsentral'noi Rossii* [Science in the Central Russia, 2016, no. 4, pp. 10–15. (in Russian)

6 Valiño V., San Román F., Ibañez R., Ortiz I. Improved separation of bovine serum albumin and lactoferrin mixtures using charged ultrafiltration membranes. *Separation and Purification Technology*, 2014, vol. 125, pp. 163–169.

7 Rohani M.M., Zydney A.L., Protein transport through zwitterionic ultrafiltration membranes. *J. Membr. Sci*, 2012, vol. 397–398, pp. 1–8.

8 Schmidt J.M., Greve-Poulsen M., Damgaard H. et al. Effect of Membrane Material on the Separation of Proteins and Polyphenol Oxidase in Ultrafiltration of Potato Fruit Juice. *FoodBioprocessTechnology*, 2016, vol. 9, pp. 822–829.

9 Dabestania S., Arcotb J., Chena V. Protein recovery from potato processing water: Pre-treatment and membrane fouling minimization. *Journal of Food Engineering*, 2017, vol. 195, pp. 85–96

10 Khachatryan L.R., Kotlyarov R.V., Lobzenko B.A. Investigation of the technological operation modes of the membrane of the apparatus when the concentration of starch milk. *Tekhnika I tekhnologiya pishchevykh proizvodstv* [Equipment and technology of food production] 2015, vol. 37, no. 2, pp. 61–66. (in Russian)

11 Kholov Sh.E., Ikromi K.I., Yunusov N.I., Mukhidinov Z.K. Features of ultrafiltration process engineering calculation in concentration and purification of pectin polysaccharides. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of the VSUET]. 2017, no. 79(4), pp. 26-30. (in Russian) doi: 10.20914/2310-1202-2017-4-26-30

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Sergei I. Lazarev professor, Applied geometry and computer graphics department, Tambov State Technical University, Leningradskaya str., 1, Tambov, 392036, Russia, geometry@mail.nnn.tstu.ru

Ol'ga A. Kovaleva assistant professor, Applied geometry and computer graphics department, Tambov State Technical University, Leningradskaya str., 1, Tambov, 392036, Russia, sseedd@mail.ru

Konstantin V. Shestakov graduate student, Applied geometry and computer graphics department, Tambov State Technical University, Leningradskaya str., 1, Tambov, 392036, Russia, kostyanshestakov@mail.ru

Konstantin K. Polyanskii professor, Commerce and commodity science department, Voronezh Branch of RUE named after G.V. Plekhanov, Karl Marks str., 67A, Voronezh, 394036, Russia, kkpolyansky@mail.ru

CONTRIBUTION

all authors equally participated in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

RECEIVED 4.16.2018

ACCEPTED 5.19.2018