

МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕМБРАННЫХ УСТАНОВОК НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ, УКОМПЛЕКТОВАННЫХ АППАРАТАМИ С ОТВОДОМ ДИФФУЗИОННОГО СЛОЯ

Б.А. Лобасенко, В.Н. Иванец, Е.К. Сазонова, А.Е. Стефанкин, Р.В. Котляров*

*ФГБОУ ВО «Кемеровский технологический институт
пищевой промышленности (университет)»,
650056, Россия, г. Кемерово, б-р Строителей, 47*

**e-mail: kotliarov_rv@mail.ru*

Дата поступления в редакцию: 05.07.2016

Дата принятия в печать: 25.08.2016

Математическое моделирование является неотъемлемой частью современного научного исследования. Математическая модель представляет собой эффективный инструмент познания реального объекта и позволяет определить его характеристики, получить оценку показателей эффективности качества, осуществить поиск оптимальной структуры и параметров объекта. Математическое моделирование применимо к различным процессам, протекающим при переработке пищевых сред, – механическим, теплообменным, массообменным, мембранным и т.д. В основе математической модели процессов мембранной переработки, как правило, лежат показатели их эффективности – селективность и удельная производительность (проницаемость). Во многом снижение данных показателей обусловлено явлением «концентрационной поляризации», которое связано с накоплением слоя задерживаемых веществ на поверхности мембраны. Одним из эффективных способов борьбы с данным явлением является отвод диффузионного слоя, который позволяет интенсифицировать мембранные процессы. Моделирование и расчет аппаратов и установок составляют один из основных этапов внедрения технологического оборудования в производственный процесс. Простота методов моделирования и расчета сокращает время пуска технологической линии, что, в свою очередь, позволяет ускорить получение прибыли. Мембранное фильтрование осуществляется в аппаратах, которые комплектуются в установки. Установки можно классифицировать по различным признакам. Наиболее распространенной является классификация по организации процесса. В соответствии с ней различают одноступенчатые и многоступенчатые, прямоточные и циркуляционные. Проведен анализ схем мембранных установок на основе типовых аппаратов с отводом фильтрата. Предложены варианты мембранных установок, включающие мембранные аппараты с отводом диффузионного пограничного слоя. На основе результатов экспериментальных исследований мембранного оборудования с отводом диффузионного слоя разработаны программные комплексы, позволяющие производить рациональную компоновку мембранных установок непрерывного действия.

Мембранные аппараты, диффузионный пограничный слой, программный комплекс, технологические параметры, молочная сыворотка

Введение

Мембранная фильтрация на современном этапе развития науки и техники широко используется в различных отраслях пищевой, химической, биотехнологической и медицинской промышленности. Это обусловлено возможностью целенаправленного получения разнообразных продуктов высокого качества с заданными свойствами. Кроме того, за счет незначительной инактивации обрабатываемых сред физико-химические и органолептические показатели их достаточно высоки.

Мембранное фильтрование осуществляется в аппаратах, которые комплектуются в установки [4]. Установки можно классифицировать по различным признакам. Наиболее распространенной является классификация по организации процесса. В соответствии с ней различают одноступенчатые и многоступенчатые, прямоточные и циркуляционные [8]. Наиболее простыми в техническом исполнении являются одноступенчатые установки. Степенью обработки в мембранной технологии принято считать такую часть установки, в которой проникающий компонент однократно проходит через мембрану, а также происходит скачкообразное изменение основных параметров раствора – концентрации и давления. Если необходимая концентрация раствора не достигается в одной ступени, применяется несколько ступеней – установки называются многоступенчатыми.

В прямоточных установках исходный раствор обрабатывается до заданного качества при однократном прохождении (один цикл) через один или несколько мембранных аппаратов, соединенных последовательно или параллельно.

В циркуляционных установках раствор проходит многократно (несколько циклов) через один или несколько мембранных аппаратов.

Если заданная концентрация достигается за один цикл циркуляции, установки можно отнести к установкам непрерывного действия. Если ее невозможно достичь за один проход раствора, производится последовательное соединение нескольких одноступенчатых установок и получают многоступенчатую установку.

Общим недостатком этих установок, комплектуемых типовыми мембранными аппаратами, в ко-

торых производится отвод фильтрата, является образование слоя концентрационной поляризации, что существенно снижает как производительность отдельных мембранных аппаратов, так и всей установки в целом. Использование мембранных аппаратов, предусматривающих отвод диффузионного пограничного слоя, предполагает иную организацию процесса, которая отличается от традиционной. Это обусловлено тем, что из мембранного аппарата отводится диффузионный слой с повышенным содержанием задерживаемых веществ и обедненный поток с меньшей концентрацией [1].

Целью работы является создание рациональных схем компоновок мембранных установок непрерывного действия, укомплектованных мембранными аппаратами с отводом диффузионного слоя.

Объекты и методы исследований

В качестве объекта исследования были использованы мембранные установки, включающие опытно-промышленные аппараты с отводом диффузионного пограничного слоя. Особенностью этих аппаратов является отвод более концентрированного диффузионного слоя, образующегося на мембране, чем основной поток. Отвод и использование этого слоя в дальнейшей переработке позволяет значительно сократить продолжительность получения готового продукта.

При моделировании использовались данные экспериментальных исследований, полученные на опытно-промышленном аппарате с трубчатыми мембранами диаметром пор около 40 нм и площадью фильтрации 0,07 м² [2]. В качестве исходного раствора использовалась молочная сыворотка с содержанием сухих веществ 4 % масс. При определении физико-химических показателей молочной сыворотки, концентрата и фильтрата, их органолептических оценок применялись общепринятые и стандартные методы.

Исследования проводились при следующих значениях технологических параметров: $T = 20$ °C, $v = 0,4$ м/с, $P = 0,15$ МПа.

Обработка результатов осуществлялась с использованием математических функций, входящих в стандартную библиотеку Simulink пакета математического моделирования MATLAB 6.5.

Результаты и их обсуждение

При моделировании установок с мембранными аппаратами, производящими отвод диффузионного слоя, необходимо иметь в виду, что при компоновке их следует учитывать два условия [3, 5, 6, 7]:

- использовать минимальную площадь аппаратов и количество вспомогательного оборудования, необходимого для получения заданного количества продукта соответствующей концентрации;
- использование материальных потоков с близкой концентрацией во избежание дополнительного времени и энергозатрат на переработку раствора.

Возможны два варианта компоновки: с последовательным движением обедненного раствора; с циркуляцией обедненного раствора. В первом случае перерабатываемая среда поступает на первую ступень в

основной аппарат. Раствор, обедненный задерживаемыми веществами, подается в следующий за основным аппарат первой ступени, а концентрат отводится на следующую ступень установки. Во втором перерабатываемая среда поступает на первую ступень одновременно в основной и циркуляционный аппараты. Далее раствор, сконцентрированный на первой ступени, подается на вторую ступень в основной и циркуляционный аппараты.

Рассмотрим первый вариант компоновки.

Параметры, определяемые в результате моделирования, следующие: площадь фильтрации или количество трубчатых модулей в аппаратах ступени (за исключением основного), суммарная площадь фильтрации или количество модулей, концентрация растворенных веществ и расход продукта на выходе каждой ступени и установки.

Варьируя входные параметры – количество мембран в основном аппарате и концентрацию сухих веществ в исходной среде, могут быть получены кривые, на основе которых можно оптимизировать секционирование мембранного оборудования. Для рассчитанной конфигурации аппаратов могут меняться значения технологических параметров, что позволяет определить рациональный режим процесса концентрирования.

Методику расчета можно реализовать средствами любого программного пакета, предусматривающего возможность работы с передаточными функциями. В данном случае с применением функций Simulink пакета математического моделирования MatLAB 6.5 разработан программный комплекс и проведен расчет мембранного оборудования, включающего три ступени с пятью аппаратами, в котором обедненный поток движется последовательно.

В качестве основных технологических параметров работы мембранного оборудования приняты указанные выше параметры. Варьируя количество мембранных фильтров основного аппарата первой ступени (площадь фильтрации), можно проследить изменение содержания сухих веществ в концентрате продукта, а также его расход на выходе ступеней.

В качестве основного критерия оценки работы установки целесообразно принять интегральный показатель, включающий содержание растворенных веществ в концентрате и ее производительность по готовому продукту, который характеризует количество растворенных веществ, получаемых в установке за единицу времени.

Как видно из рис. 1, при небольшом количестве мембранных модулей (до 5) установку целесообразно комплектовать одной ступенью с суммарной площадью фильтрации, не превышающей 0,0285 м². Повышение числа фильтрующих мембранных фильтров основного блока первой ступени до 13 ведет к необходимости ввода второй ступени. В этом случае суммарная площадь мембранной установки достигает примерно 0,1576 м². Увеличение количества мембранных фильтров основного блока первой ступени до 20 приводит к необходимости использования третьей ступени. Суммарная

площадь мембранной установки, включающей три ступени, достигнет примерно $0,2517 \text{ м}^2$.

При дальнейшем увеличении мембранных модулей в основном блоке первой ступени их общее количество во всей установке остается неизменным. Возрастает только число фильтрующих модулей в других блоках установки.

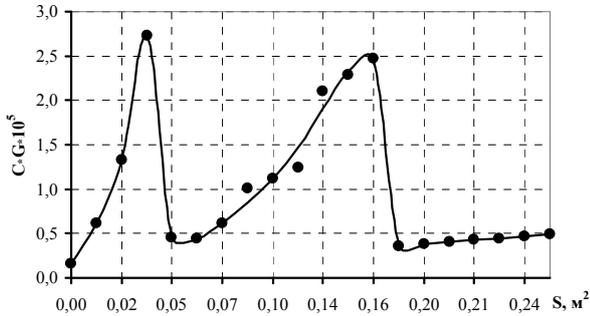


Рис. 1. Влияние площади фильтрации на концентрацию сухих веществ в единице объема продукта в единицу времени

Основной показатель работы мембранной установки зависит от площади фильтрации при различных вариантах компоновки ступени следующим образом (рис. 2). Наиболее эффективно функционирует мембранная установка, каждая ступень которой укомплектована четырьмя аппаратами, так как фильтрационная площадь в данном случае обеспечивает наиболее высокую производительность. При этом наблюдается различие концентрации растворенных веществ в продукте первого и последнего аппарата ступеней не более 0,3 % масс. Данный показатель в установках, укомплектованных пятью аппаратами, достигает 0,4 % масс. Таким образом, на следующую ступень поступает продукт с меньшей концентрацией сухих веществ, поэтому показатели работы мембранной установки снижаются. Мембранное оборудование, содержащее меньше четырех блоков, не обеспечивает высоких показателей работы, поскольку площадь фильтрации недостаточна и ввод второй и следующих ступеней необходимо выполнить раньше.

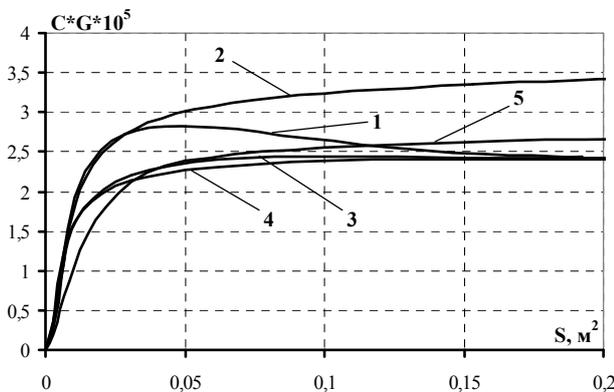


Рис. 2. Показатели функционирования мембранной установки, в составе каждой ступени которой: 1 – пять аппаратов; 2 – четыре аппарата; 3 – три аппарата; 4 – два аппарата; 5 – один аппарат

Если необходимо повысить показатели функционирования мембранной установки, следует предусматривать возможность применения четырех и более ступеней. При этом увеличатся затраты на комплектацию мембранного оборудования (количество мембран и вспомогательное оборудование), его обслуживание (энергозатраты, затраты на дезинфицирующий раствор), производственная площадь. Следовательно, выбирать рациональную конфигурацию мембранного оборудования нужно с учетом затрат в соответствии с основными статьями калькуляции.

Разработанный программный комплекс позволяет для установленной конфигурации мембранного оборудования дополнительно провести анализ зависимости показателей производительности оборудования от технологических параметров процессов мембранного концентрирования.

Рассмотрим второй вариант компоновки.

Исходными данными при расчете аналогично служат площадь мембран или количество мембранных модулей основного и циркуляционного аппарата, значения технологических параметров процесса и содержание растворенных веществ в исходной среде. Рекомендуются значения технологических параметров аналогично первому случаю.

К расчетным параметрам относят площадь фильтрации или количество мембранных модулей каждого аппарата ступени (за исключением основного), суммарную фильтрационную площадь или суммарное количество модулей, концентрацию сухих веществ в продукте и расход продукта на выходе ступени и мембранной установки в целом.

Разработанный программный комплекс позволяет оценить зависимость концентрации задерживаемых веществ в продукте для различных значений отношения рециркуляции к фильтрационной площади установки, укомплектованной тремя ступенями, каждая из которых содержит два аппарата (рис. 3).

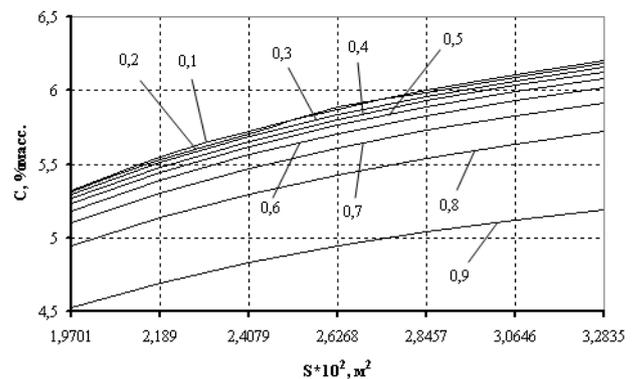


Рис. 3. Влияние значений отношения рециркуляции к площади фильтрации на концентрацию задерживаемых веществ в продукте

Как иллюстрирует график, небольшое количество мембранных элементов основного аппарата (до 8) позволяет укомплектовать мембранную

установку одной ступенью с площадью фильтрации не выше $0,0328 \text{ м}^2$. Также можно заключить, что наибольшая эффективность наблюдается при использовании минимального отношения рециркуляции к максимальной площади фильтрации циркуляционного аппарата – $0,01532 \text{ м}^2$ в данном случае.

При увеличении числа фильтрующих мембранных элементов в составе основного аппарата первой ступени более 8 возникает необходимость внедрения второй ступени. В таком случае суммарная площадь мембранной установки превысит $0,04378 \text{ м}^2$. Число модулей в циркуляционном аппарате нужно принять максимально возможным, но меньше, чем в основном аппарате.

Увеличение количества фильтрующих мембранных элементов основного аппарата первой ступени более 64 приводит к необходимости включения в состав установки третьей ступени. Суммарная площадь мембранной установки, укомплектованной тремя ступенями, выше $0,3108 \text{ м}^2$. Дальнейшее повышение количества фильтрационных модулей в основном аппарате первой ступени ведет к повышению количества фильтрационных модулей в аппаратах установки. Однако количество ступеней остается неизменным.

Влияние фильтрационной площади на содержание задерживаемых веществ на единицу объема продукта, получаемого в единицу времени, представлено на рис. 4. В соответствии с полученной кривой наиболее рациональной площадью мембранной установки можно считать $0,0328 \text{ м}^2$. При этом мембранная установка состоит их двух ступеней.

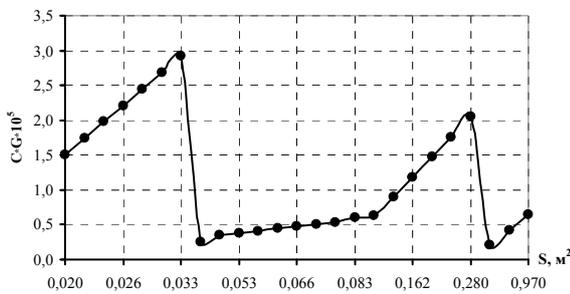


Рис. 4. Влияние фильтрационной площади на содержание задерживаемых веществ на единицу объема продукта, получаемого в единицу времени

Как и в предыдущем случае, более высокие показатели работы мембранной установки достигаются, если предусмотрена возможность применения в составе мембранного оборудования четвертой ступени и выше. В данном случае соответственно увеличатся затраты, связанные с комплектацией установки, ее обслуживанием, занимаемой площадью. Следовательно, выбирать рациональную конфигурацию мембранного оборудования необходимо на основе статей калькуляции производства.

При сравнительном анализе компоновки фильтрующих мембранных модулей установлено, что при одинаковых площадях фильтрации примерно $0,03 \text{ м}^2$ установка с циркуляцией обедненного су-

хими веществами раствора функционирует эффективнее на 7 %, чем установка с последовательным движением обедненного сухими веществами раствора. При этом с увеличением фильтрационной площади наиболее эффективно использование установки, предусматривающей последовательное движение обедненного раствора (рис. 5).

Выполнен сравнительный анализ показателей функционирования мембранного оборудования промышленного типа. Алгоритм определения показателей работы реализован стандартными средствами Simulink пакета математического моделирования MATLAB 6.5. Результаты расчета, ограниченного максимальной фильтрационной площадью 50 м^2 , приведены на рис. 6.

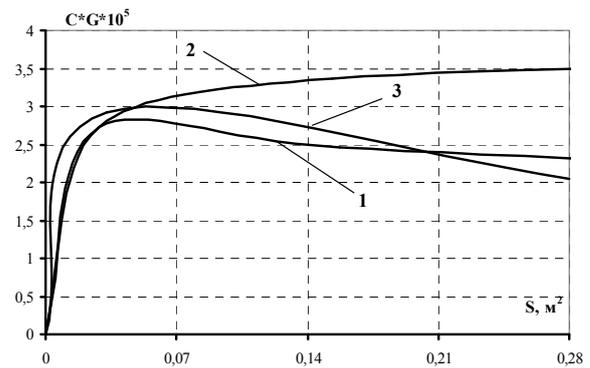


Рис. 5. Анализ эффективности работы мембранного оборудования, предусматривающего:

- 1 – последовательное движение обедненного задерживаемыми веществами раствора (ступень включает пять аппаратов);
- 2 – последовательное движение обедненного задерживаемыми веществами раствора (ступень включает четыре аппарата);
- 3 – рециркуляцию обедненного задерживаемыми веществами раствора

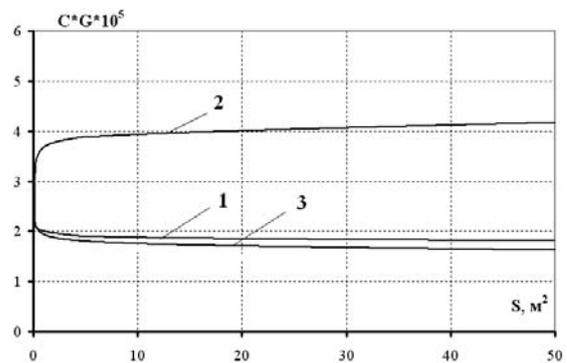


Рис. 6. Анализ эффективности мембранного оборудования промышленного типа, предусматривающего:

- 1 – последовательное движение обедненного задерживаемыми веществами раствора (ступень включает пять аппаратов);
- 2 – последовательное движение обедненного задерживаемыми веществами раствора (ступень включает четыре аппарата);
- 3 – рециркуляцию обедненного задерживаемыми веществами раствора

В указанном диапазоне варьирования фильтрационной площади явным преимуществом обладает

мембранная установка промышленного типа, предусматривающая последовательное движение обедненного задерживаемыми веществами раствора и включающая четыре аппарата в ступени.

Окончательный вывод об эффективности функционирования оборудования может быть сделан с учетом гидравлического расчета и расчета приведенных затрат.

Список литературы

1. Лобасенко, Б.А. Ультрафильтрация: Теория и практика / Б.А. Лобасенко, А.Г. Семенов, Ю.Н. Захаров. – Новосибирск: Наука, 2015. – 204 с.
2. Котляров, Р.В. Моделирование процесса мембранного концентрирования молочных сред и разработка аппаратурных схем установок: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.18.12 / Котляров Роман Витальевич. – Кемерово, 2009. – 17 с.
3. Лобасенко, Б.А. Ультрафильтрация молока и молочных продуктов: монография / Б.А. Лобасенко, Р.Б. Лобасенко; Кемеровский технологический институт пищевой промышленности. – Кемерово, 2006. – 117 с.
4. Дытнерский, Ю.И. Процессы и аппараты химической технологии: в 2 ч. Ч. 2: Массообменные процессы и аппараты / Ю.И. Дытнерский. – М.: Химия, 1995. – 368 с.
5. Малыгин, Е.Н. Математические методы в технических расчетах / Е.Н. Малыгин. – Тамбов: Изд-во ГОУ ВПО ТГТУ, 2010. – 80 с.
6. Kerger, F. Modeling flows in environmental and civil engineering / F. Kerger, B.J. Dewals, S. Erpicum, P. Archambeau, M. Piroton. – Nova Science Publishers, Inc., 2010. – 151 p.
7. Chakraborty, D. Modeling and simulation of rotating disk-membrane module in ultrafiltration of bovine serum albumin / D. Chakraborty, D. Sarkar, C. Bhattacharjee // Separation science and technology. – 2013. – V. 48, №17. – P. 2549-2566.
8. LeCorre, D. Ceramic membrane filtration for isolating starch nanocrystals / D. LeCorre, J. Bras, A. Dufresne // Carbohydrate Polymers, 2011. - №86. – P. 1565-1572.

MODELING OF CONTINUOUS MEMBRANE PLANT COMPLETED WITH APPARATUS FOR DIFFUSION LAYER REMOVING

B.A. Lobasenko, V.N. Ivanets, E.K. Sazonova, A.E. Stefankin, R.V. Kotlyarov*

*Kemerovo Institute of Food Science and Technology (University),
47, Boulevard Stroiteley, Kemerovo, 650056, Russia*

**e-mail: kotliarov_rv@mail.ru*

Received: 05.07.2016

Accepted: 25.08.2016

Mathematical modeling is an integral part of modern scientific research. A mathematical model represents an effective tool of knowledge of a real object and makes it possible to determine its characteristics, to assess performance quality indices, to search for an optimum structure and parameters of the object. Mathematical modeling is applied to various processes taking place when processing food materials e.g. mechanical processes, heat-exchange, mass-exchange, membrane processes, etc. Their efficiency indices – selectivity and specific capacity (permeability), as a rule, are the basis of mathematical model of membrane conversion processes. In many respects, decrease in these indices is caused by the phenomenon of “concentrated polarization” which is connected with the accumulation of the layer of detained substances on a membrane surface. One of the effective methods to decrease the influence of this phenomenon is to remove a diffusion layer, which allows membrane processes to be intensified. Modeling of apparatus and equipment is one of the main stages of introduction of processing equipment in the production process. The simplicity of modeling methods reduces the start-up time of the processing line that, in turn, allows accelerating profit earning. Membrane filtration is carried out in the apparatus, which are built up into plants. Various signs can be used to classify the plants. The most widespread one is classification by process organization. According to this classification, one-stage and multistage, direct-flow and circulating plants are distinguished. The analysis of membrane plant schemes based on standard apparatus with filtrate removing has been carried out. The options of membrane plants including membrane apparatus with diffusion layer removing are offered. Program complexes allowing us to make rational configuration of membrane plants of continuous operation have been developed.

Membrane apparatus, diffusion boundary layer, program complex, technological parameters, whey

References

1. Lobasenko B.A., Semenov A.G., Zaharov Yu.N., *Ul'trafil'tratsiya: Teoriya i praktika* [Ultrafiltration: Theory and practice]. Novosibirsk, Nauka Publ., 2015. 204 p.
2. Kotlyarov R.V. *Modelirovanie protsessa membrannogo kontsentrirvaniya molochnykh sred i razrabotka apparaturnykh skhem ustanovok. Avtoref. diss. kand. tekhn. nauk* [Modeling of process of membrane concentration of dairy and development of apparatus schemes of equipment. Cand. eng. sci. thesis]. Kemerovo, 2009. 17 p.

3. Lobasenko B.A., Lobasenko R.B. *Ul'trafil'tratsiya moloka i molochnykh produktov* [Ultrafiltration of milk and dairy products]. Kemerovo, KemIFST Publ., 2006. 117 p.
4. Dytnerkiy Yu.I. *Protsessy i apparaty khimicheskoy tekhnologii. V 2 ch. Ch. 2. Massoobmennyye protsessy i apparaty* [Processes and apparatus of chemical technology. In 2 part. Part 2. Mass transfer processes and apparatus]. Moscow, Khimiya Publ., 1995. 368 p.
5. Malygin E.N. *Matematicheskie metody v tehnikeskikh raschetah* [Mathematical methods in technical calculations]. Tambov, TSTU Publ., 2010. 80 p.
6. Kerger F., Dewals B.J., Ericum S., Archambeau P., Piroton M. *Modeling flows in environmental and civil engineering*. Nova Science Publishers, Inc., 2010. 151 p.
7. Chakraborty D., Sarkar D., Bhattacharjee C. Modeling and simulation of rotating disk-membrane module in ultrafiltration of bovine serum albumin. *Separation science and technology*, 2013, vol. 48, no. 17, pp. 2549–2566.
8. LeCorre D., Bras J., Dufresne A. Ceramic membrane filtration for isolating starch nanocrystals. *Carbohydrate Polymers*, 2011, no. 86, pp. 1565–1572.

Дополнительная информация / Additional Information

Моделирование мембранных установок непрерывного действия, укомплектованных аппаратами с отводом диффузионного слоя / Б.А. Лобасенко, В.Н. Иванец, Е.К. Сазонова, А.Е. Стефанкин, Р.В. Котляров // Техника и технология пищевых производств. – 2016. – Т. 42. – № 3. – С. 112–117.

Lobasenko B.A., Ivanets V.N., Sazonova E.K., Stefankin A.E., Kotlyarov R.V. Modeling of continuous membrane plant completed with apparatus for diffusion layer removing. *Food Processing: Techniques and Technology*, 2016, vol. 42, no. 3, pp. 112–117. (in Russ.).

Лобасенко Борис Анатольевич

д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры технологического проектирования пищевых производств, ФГБОУ ВО «Кемеровский технологический институт пищевой промышленности (университет)», 650056, Россия, г. Кемерово, б-р Строителей, 47

Иванец Виталий Николаевич

д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры технологического проектирования пищевых производств, ФГБОУ ВО «Кемеровский технологический институт пищевой промышленности (университет)», 650056, Россия, г. Кемерово, б-р Строителей, 47

Сазонова Екатерина Константиновна

аспирант кафедры технологического проектирования пищевых производств, ФГБОУ ВО «Кемеровский технологический институт пищевой промышленности (университет)», 650056, Россия, г. Кемерово, б-р Строителей, 47

Стефанкин Антон Евгеньевич

аспирант кафедры автоматизации производственных процессов и автоматизированных систем управления, ФГБОУ ВО «Кемеровский технологический институт пищевой промышленности (университет)», 650056, Россия, г. Кемерово, б-р Строителей, 47, тел.: +7 (3842) 39-68-35

Котляров Роман Витальевич

канд. техн. наук, заведующий кафедрой автоматизации производственных процессов и автоматизированных систем управления, ФГБОУ ВО «Кемеровский технологический институт пищевой промышленности (университет)», 650056, Россия, г. Кемерово, б-р Строителей, 47, тел.: +7 (3842) 39-68-35, e-mail: kotliarov_rv@mail.ru

Boris A. Lobasenko

Dr.Sci.(Eng.), Professor, Professor of the Department of Technological Design for Food Production, Kemerovo Institute of Food Science and Technology (University), 47, Boulevard Stroiteley, Kemerovo, 650056, Russia

Vitalij N. Ivanets

Dr.Sci.(Eng.), Professor, Professor of the Department of Technological Design for Food Production, Kemerovo Institute of Food Science and Technology (University), 47, Boulevard Stroiteley, Kemerovo, 650056, Russia

Ekaterina K. Sazonova

Postgraduate of the Department of Technological Design for Food Production, Kemerovo Institute of Food Science and Technology (University), 47, Boulevard Stroiteley, Kemerovo, 650056, Russia

Anton E. Stefankin

Postgraduate of the Department of Production Processes Automation and Automation Systems, Kemerovo Institute of Food Science and Technology (University), 47, Boulevard Stroiteley, Kemerovo, 650056, Russia, phone: +7 (3842) 39-68-35

Roman V. Kotlyarov

Cand.Sci.(Eng.), Head of the Department of Production Processes Automation and Automation Systems, Kemerovo Institute of Food Science and Technology (University), 47, Boulevard Stroiteley, Kemerovo, 650056, Russia, phone: +7 (3842) 39-68-35, e-mail: kotliarov_rv@mail.ru

