

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА МЕМБРАННОГО КОНЦЕНТРИРОВАНИЯ БЕЛКОВ МОЛОЧНОГО СЫРЬЯ\*

Разработана стохастическая модель, которая позволяет провести моделирование процесса мембранного концентрирования белков молочного сырья при изменении значений технологических параметров процесса. На ее основе определены рациональные значения этих параметров и выработаны рекомендации по проведению процесса.

Молочное сырье, ультрафильтрация, стохастическая модель.

### Введение

Молочные белки традиционно используются для обогащения, стабилизации и т.п. во многих пищевых продуктах, в том числе и аэрированных. Для выделения белков из молочного сырья часто используются мембранные методы [1–7]. Для эффективной организации процесса необходимо обеспечить стабильную скорость отвода растворителя через мембрану, для этого достаточно при оптимальных условиях технологических параметров минимизировать возникающее в процессе негативное воздействие на мембрану (концентрационная поляризация, загрязнение пор и т.п.). В этом направлении ведется работа на кафедре «Процессы и аппараты пищевых производств» Кемеровского технологического института пищевой промышленности, разработки ее сотрудников и аспирантов [8–11] позволяют не только уменьшать негативное воздействие поляризационного слоя на поверхности мембраны, но и использовать его для интенсификации процессов концентрирования белков молочного сырья.

Изучим процесс мембранного концентрирования с целью получения рациональных значений технологических параметров, таких как температура, давление, скорость течения жидкости и т.д. Как правило, для этих целей используют методы планирования экспериментов, мы используем стохастическую модель, описанную в работе [12].

### Материалы и методы

Рассмотрим процесс мембранного концентрирования молочного сырья (обезжиренное молоко, сыворотка), которое представляет собой раствор, содержащий растворитель (воду) и растворенное вещество (белки, соли, лактозу). В установку, основным элементом которой является мембранный аппарат специальной конструкции, под давлением подается молочное сырье заданной температуры. Концентрирование растворенных веществ в растворе осуществляется как за счет отвода растворителя через мембрану, так и за счет использования отведенного обогащенного слоя с поверхности мембраны. Построение стохастической модели основано на следующих допущениях: взаимодействие частиц растворителя и растворенного вещества мало, а их число потенциально бесконечно.

Содержание растворителя и растворенного вещества в растворе при концентрировании зависит от различных физико-химических параметров процесса, поэтому анализ эффективности работы мембран-

ной установки можно провести на основе методов теории случайных процессов.

В качестве показателя эффективности функционирования системы рассмотрим  $M_j(\tau)$ ,  $j=1, 2$  – среднюю массу растворенного вещества и растворителя соответственно в растворе в момент времени  $\tau$  при условии, что в начальный момент времени  $\tau=0$  их число было равно  $M_j(0)=i_j$ ,  $D_j(\tau)$  – дисперсию этой массы при условии, что  $D_j(0)=0$ ,  $\tau \in [0, \infty)$ ,  $\tau_{cp}^{(1)}$ ,  $\tau_{cp}^{(2)}$  – среднее время перехода 1 г растворенного вещества, растворителя единичного объема через мембрану в фильтр. Для практических расчетов обычно используют среднее квадратичное отклонение  $\sigma_j(\tau) = \sqrt{D_j(\tau)}$ .

Изучим процесс мембранного концентрирования обезжиренного молока и по изменению концентрации раствора. Зависимость концентрации раствора (содержания сухих веществ) от времени определяется следующим уравнением [13]:

$$C(\tau) = \frac{M_1(\tau)}{M_1(\tau) + M_2(\tau)} \cdot 100\%. \quad (1)$$

Для описания процесса воспользуемся моделью на основе теории массового обслуживания [12], в соответствии с которой в мембранный аппарат в единицу времени поступает  $\alpha$  единичных элементов (требований) растворенного вещества или растворителя (единичным элементом будем считать 1 г растворенного вещества или растворителя). Под обслуживанием будем понимать переход единичного элемента из основного раствора через поры мембраны в фильтр, которые назовем обслуживающими приборами. Число требований, обслуженных в каждый момент времени, будем считать случайным. Это позволяет нам рассматривать процесс мембранного концентрирования как систему массового обслуживания  $S$  [14], состоящую из достаточно большого числа обслуживающих приборов, в которую поступают требования (единичные элементы) с интенсивностью  $\alpha$  в единицу времени на обслуживание приборами (поры мембраны). Требование, поступившее в систему, сразу начинает обслуживаться с интенсивностью  $\beta = 1/\tau_{cp}$ . Обслуженное требование покидает систему  $S$ .

В соответствии с моделью для среднего числа требований и дисперсии этого числа, находящихся в системе  $S$  в момент времени  $\tau$ , имеем [12, 15–17]

\* Работа поддержана РФФИ, грант № 09-07-00185-а

$$M(\tau) = \frac{\alpha}{\beta} + \left(i - \frac{\alpha}{\beta}\right)e^{-\beta \cdot \tau},$$

$$D(\tau) = \left(1 - e^{-\beta \cdot \tau}\right) \left(\frac{\alpha}{\beta} + i \cdot e^{-\beta \cdot \tau}\right), \quad (2)$$

где  $i$  – число требований в системе в начальный момент времени  $\tau = 0$ .

Учитывая формулы (2) и ранее введенные допущения, получим среднюю массу растворенного вещества и растворителя и дисперсию этой массы соответственно в единичном объеме в любой момент времени  $\tau \in [0, \infty)$ :

$$M_j(\tau) = \frac{\alpha_j}{\beta_j} + \left(i_j - \frac{\alpha_j}{\beta_j}\right)e^{-\beta_j \cdot \tau}, \quad (3)$$

$$D_j(\tau) = \left(1 - e^{-\beta_j \cdot \tau}\right) \left(\frac{\alpha_j}{\beta_j} + i_j \cdot e^{-\beta_j \cdot \tau}\right), \quad j = 1, 2. \quad (4)$$

Таким образом, увеличение концентрации раствора до наибольшего значения состоит в увеличении скорости отвода растворителя, что можно гарантировать только при стабильно высокой селективности мембраны. На практике выполнения этого условия добиться достаточно тяжело, что объясняется наличием концентрационной поляризации, которая начинает проявлять свое негативное влияние достаточно быстро при концентрировании растворов высокомолекулярных соединений. Таким образом, значения параметров  $\beta_1, \beta_2$  зависят от вида и конструктивных особенностей оборудования, а также селективности мембраны в нем.

Экспериментальные исследования [18] состояли в изучении технологических параметров процесса ультрафильтрации обезжиренного молока и влияния их значений на исход процесса. В качестве основного элемента мембранной установки использовался мембранный аппарат специальной конструкции [8, 18].

Исследования, проведенные рядом авторов [5, 6, 19–25], показывают, что на процесс мембранной обработки существенное влияние оказывают следующие параметры: рабочее давление ( $P$ ), режим течения жидкости ( $Re$ ), температура ( $T$ ), продолжительность обработки ( $\tau$ ). Изучаемые параметры изменяли в пределах:  $P$  от 0,05 до 0,15 МПа;  $Re$  от 500 до 1500,  $T$  от 20 до 60 °С и  $\tau$  до 90 минут.

Изучение влияния параметров на эффективность процесса концентрирования белков обезжиренного молока проводили, изменяя значения одного параметра в указанном диапазоне его значений при фиксированных значениях других. В качестве фиксированных значений технологических параметров процесса рассматривали  $T = 60^\circ\text{C}$ ,  $P = 0,15$  МПа,  $Re = 500$ . При изучении эффективности процесса раствор обезжиренного молока с массовой долей сухих веществ 9,2 % заданной температуры подавался в экспериментальную установку под определенным давлением с фиксированной скоростью потока раствора. Анализ полученных результатов позволил оставить для дальнейшего рассмотрения следующие значения параметров: температура – 45, 50, 55, 60 °С, давление – 0,11; 0,13; 0,15 МПа, число Рейнольдса – 500; 700; 900; 1100. Результаты приведены на рис. 1–3.

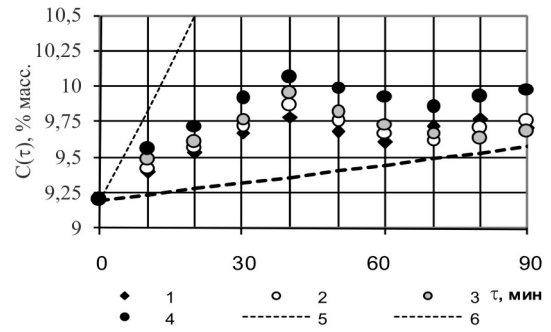


Рис. 1. Зависимость содержания сухих веществ в обезжиренном молоке от продолжительности концентрирования  $\tau$  при изменении температуры,  $P = 0,15$  МПа,  $Re = 500$ ,  $\alpha_1 = 0,0015$ ,  $\alpha_2 = 0,0151$  1/мин: 1 –  $T = 45^\circ\text{C}$ ; 2 –  $T = 50^\circ\text{C}$ ; 3 –  $T = 55^\circ\text{C}$ ; 4 –  $T = 60^\circ\text{C}$ ; 5 –  $C(\tau)$ ,  $\beta_1 = 0,0062$  1/мин,  $\beta_2 = 0,0136$  1/мин; 6 –  $C(\tau)$ ,  $\beta_1 = 0,0083$  1/мин,  $\beta_2 = 0,0088$  1/мин

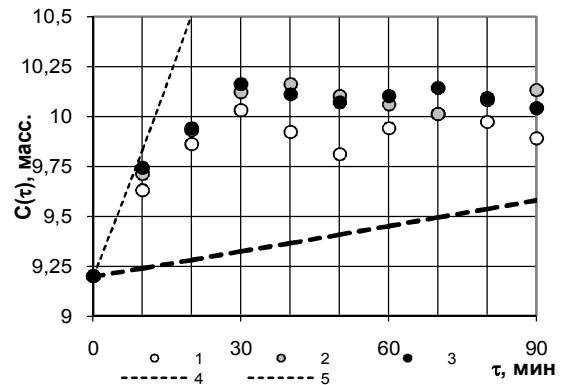


Рис. 2. Зависимость содержания сухих веществ в обезжиренном молоке от продолжительности концентрирования  $\tau$  при изменении давления,  $T = 60^\circ\text{C}$ ,  $Re = 500$ ,  $\alpha_1 = 0,0015$ ,  $\alpha_2 = 0,0151$  1/мин: 1 –  $P = 0,11$  МПа; 2 –  $P = 0,13$  МПа; 3 –  $P = 0,15$  МПа; 4 –  $C(\tau)$ ,  $\beta_1 = 0,0062$  1/мин,  $\beta_2 = 0,0136$  1/мин; 5 –  $C(\tau)$ ,  $\beta_1 = 0,0083$  1/мин,  $\beta_2 = 0,0088$  1/мин

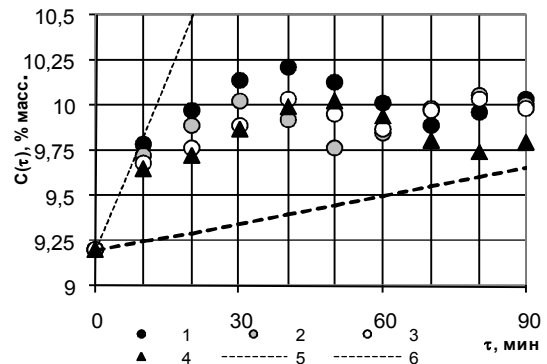


Рис. 3. Зависимость содержания сухих веществ в обезжиренном молоке от продолжительности концентрирования  $\tau$  при изменении режима течения жидкости,  $T = 60^\circ\text{C}$ ,  $P = 0,15$  МПа,  $\alpha_1 = 0,0015$ ,  $\alpha_2 = 0,0151$  1/мин: 1 –  $Re = 500$ ; 2 –  $Re = 700$ ; 3 –  $Re = 900$ ; 4 –  $Re = 1100$ ; 5 –  $C(\tau)$ ,  $\beta_1 = 0,0063$  1/мин,  $\beta_2 = 0,0136$  1/мин; 6 –  $C(\tau)$ ,  $\beta_1 = 0,0082$  1/мин,  $\beta_2 = 0,0088$  1/мин

По методике, приведенной в работе [12], были определены значения интенсивностей  $\alpha_j$ ,  $j=1,2$ . Их значения определяются концентрацией раствора и зависят от вида сырья, поэтому для одного сырья во всех сериях эксперимента значения останутся неизменными. Масса растворенного вещества и растворителя в единичном объеме (литр) в момент времени  $\tau = 0$  в среднем составила 94,9 и 937,1 г соответственно, поэтому  $i_1 = 94,9$ ,  $i_2 = 937,1$  г. Поэтому  $\alpha_j$ , определяющие массу растворенного вещества и растворителя, поступающих в аппарат в минуту, соответственно равны:

$$\alpha_1 = \frac{94,9}{1032} : 60 = 0,0015,$$

$$\alpha_2 = \frac{937,1}{1032} : 60 = 0,0151 \text{ 1/мин.}$$

По изменению массы растворенного вещества и растворителя в единичном объеме за время наиболее интенсивного снижения массы определяются интенсивности  $\beta_j$ ,  $j=1,2$ , для каждой выборки значений концентрации сухих веществ в растворе обезжиренного молока, полученных при различных значениях технологических параметров процесса.

Подставляя найденные значения интенсивностей  $\alpha_j$ ,  $\beta_j$ ,  $j=1,2$ , в формулы (3), (4), вычислили среднюю массу растворенного вещества и растворителя в единичном объеме и дисперсию этой массы, таким образом с учетом среднего квадратического отклонения значения  $M_j(\tau) \pm \sqrt{D_j(\tau)}$ ,  $j=1,2$ , определяют диапазон массы растворенного вещества и растворителя. Значения интенсивностей  $\beta_j$ ,  $j=1,2$ , для каждой серии экспериментов объединяли в интервал.

Изменение температуры раствора влечет за собой изменение скорости перехода частиц растворителя и растворенного вещества через мембрану, которая характеризуется параметром  $\beta_j$ . Были получены следующие диапазоны значений этих параметров:  $\beta_1 = 0,0070...0,0082$ ;  $0,0070...0,0083$ ;  $0,0070...0,0083$ ;  $0,0065...0,0083$  1/мин и  $\beta_2 = 0,0088...0,0099$ ;  $0,0089...0,0100$ ;  $0,0089...0,0110$ ;  $0,0093...0,0119$  1/мин соответственно для  $T = 45; 50; 55; 60^\circ \text{C}$ . Ошибка расчетов [26] концентрации по формуле (1) при использовании любых значений параметров  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  из соответствующих интервалов не превышает 18 %.

Выбор рабочего давления зависит от вида процесса, природы и концентрации разделяемого раствора, типа используемой мембраны, конструкции аппарата, гидравлического сопротивления межмембранного канала и дренажа и т.п. [20, 22, 27, 28].

Увеличение давления до определенного значения в процессе мембранного концентрирования приводит к достаточно высокой проницаемости, далее вследствие образования слоя геля у поверхности мембраны

концентрация становится постоянной и не зависит от рабочего давления [20]. Изменение режима течения жидкости в мембранной установке приводит к изменению скорости перехода частиц растворителя и растворенного вещества через мембрану.

Для каждого из этих трех случаев, соответствующих значению рабочего давления  $P = 0,11$ ;  $0,13$ ;  $0,15$  МПа, были определены диапазоны значений параметров  $\beta_1$ ,  $\beta_2$ :  $\beta_1 = 0,0063...0,008$ ;  $0,0064...0,0081$ ;  $0,0065...0,0082$  1/мин и  $\beta_2 = 0,0089...0,0118$ ;  $0,0092...0,0130$ ;  $0,0092...0,0133$  1/мин соответственно. Ошибка расчетов [26]  $C(\tau)$  при использовании значений параметров  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  из полученных интервалов составила до 23 %.

Режим течения жидкости определяется приращением давления (разность давлений на входе и выходе в аппарат). В силу особенностей конструкции мембранного аппарата рассматривали только  $Re = 500$ ;  $700$ ;  $900$ ;  $1100$ , для каждого из этих случаев определили интервалы значения параметров  $\beta_1$ ,  $\beta_2$ :  $\beta_1 = 0,0063...0,0082$ ;  $0,0065...0,0082$ ;  $0,0065...0,0082$ ;  $0,0065...0,0082$  1/мин и  $\beta_2 = 0,0092...0,0136$ ;  $0,0092...0,0133$ ;  $0,0092...0,0133$ ;  $0,0092...0,0133$  1/мин соответственно, ошибка расчета  $C(\tau)$  [26] не более 26 %.

#### Результаты и их обсуждение

Достижения наибольшей концентрации задерживаемых веществ в растворе можно добиться увеличением отвода растворителя и уменьшением отвода задерживаемых веществ через мембрану. Поскольку параметр  $\beta$  рассматриваемой стохастической модели характеризует скорость переноса частиц растворенного вещества или растворителя через мембрану (значения параметров  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  зависят от вида и конструктивных особенностей оборудования и селективности мембраны в нем), то значение  $\beta_1$  должно быть наименьшим,  $\beta_2$  – наибольшим. Поэтому из всех диапазонов значений  $\beta_1$ ,  $\beta_2$ , полученных при изменении значений температуры, давления и скорости течения жидкости, выбрали диапазоны с наименьшими значениями  $\beta_1$  и наибольшими значениями  $\beta_2$  для каждой группы исследований:  $\beta_1 = 0,0065...0,0083$  1/мин и  $\beta_2 = 0,0093...0,0119$  1/мин, которые соответствуют значению температуры раствора  $60^\circ \text{C}$ ;  $\beta_1 = 0,0065...0,0082$  1/мин и  $\beta_2 = 0,0092...0,0133$  1/мин –  $P = 0,15$  МПа;  $\beta_1 = 0,0063...0,0082$  1/мин и  $\beta_2 = 0,0092...0,0136$  1/мин –  $Re = 500$ .

Анализ интервалов значений интенсивностей  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  позволил определить рекомендуемые значения технологических параметров процесса мембранного концентрирования белков обезжиренного молока:  $P = 0,15$  МПа,  $Re = 500$ ,  $T = 60^\circ \text{C}$ .

Объединяя полученные значения, получим диапазоны значений интенсивностей  $\beta_1 = 0,0062...0,0083$

1/мин,  $\beta_2 = 0,0088...0,0136$  1/мин. Придавая значения параметрам  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  из найденных интервалов, можно определить диапазон значений функции  $C(\tau)$ , в который с вероятностью 0,95 будут попадать экспериментальные значения концентрации обезжиренного молока (с первоначальным содержанием массовой доли сухих веществ 9,2 %) для рассмотренных значений технологических параметров процесса ( $P$  от 0,05 до 0,15 МПа;  $Re$  от 500 до 1500,  $T$  от 20 до 60 °С и продолжительность концентрирования  $\tau$  до 90 минут). Это условие позволяет провести моделирование процесса мембранного концентрирования (для одного исходного сырья), полученные результаты будут иметь погрешность не более 30 %. Теоретические значения концентрации  $C(\tau)$  для полученных значений интенсивностей  $\alpha_j$ ,  $\beta_j$ ,  $j=1,2$ , приведены на рис. 1–3 пунктирными линиями и определяют диапазон значений концентрации сухих веществ, соответствующих интервалам значений технологических параметров процесса ультрафильтрации.

Возможное значение концентрации сухих веществ обезжиренного молока, близкое к предельному, определяется равенством

$$C = \lim_{\tau \rightarrow \infty} C(\tau) = 100\% \cdot \lim_{\tau \rightarrow \infty} \frac{M_1(\tau)}{M_1(\tau) + M_2(\tau)} = \frac{\alpha_1 / \beta_1}{\alpha_1 / \beta_1 + \alpha_2 / \beta_2} \cdot 100\% \quad (5)$$

В данном случае диапазон значений функции  $C(\tau) = 9,5...17,9$  %.

Таким образом, построенная стохастическая модель позволила описать процесс мембранного концентрирования белков обезжиренного молока, определить интервалы значений ее параметров, которые определяют диапазон значений целевой функции – концентрации задерживаемых веществ. Анализ параметров модели позволил определить рациональные значения технологических параметров и предложить рекомендации по проведению процесса мембранного концентрирования.

#### Список литературы

1. Daufin, G. Recent and emerging applications of membrane processes in the food and dairy industry / G. Daufin, J.P. Escudier, H. Carrere, S. Berot, L. Fillaudeau, M. Decloux // Food and Bioproducts Processing. – 2001. – V. 79. – № 2. – P. 89–102.
2. Brans, G. Design of membrane systems for fractionation of particle suspensions, PhD, thesis, Wageningen University, The Netherlands, 2006. – P. 148.
3. Walstra, P. Dairy Technology: principles of milk properties and processes / P. Walstra, T.J. Geurts, A. Noomen, A. Jellema, M.A.J.S. van Boekel. – New York: Marcel Dekker, Inc, 1999. – P. 727.
4. Advanced dairy science and technology / edited by Trevor J. Britz and Richard K. Robinson. – Blackwell Publishing Ltd, 2008. – P. 300.
5. Горбатова, К.К. Физико-химические и биохимические основы производства молочных продуктов. – СПб.: ГИОРД, 2004. – 352 с.
6. Храмов, А.Г. Справочник технолога молочного производства. Технология и рецептуры. Т. 5: Продукты из обезжиренного молока, пахты и молочной сыворотки / А.Г. Храмов, С.В. Василисин. – СПб.: ГИОРД, 2004. – 576 с.
7. Липатов, Н.Н. Мембранные методы разделения молока и молочных продуктов / Н.Н. Липатов, В.А. Марьин, Е.А. Фетисов. – М.: Пищевая промышленность, 1976. – 168 с.
8. Патент № 2168353 В 01 J 8/00, В 01 J 9/00 Способ мембранного концентрирования / Лобасенко Б.А., Павский В.А., Иванова С.А., Лобасенко Р.Б.; заявитель и патентообладатель Кемеровский технологический институт пищевой промышленности. – 20000105933/12; заявл. 10.03.2000; опубл. 10.06.2001, Бюл. № 16.
9. Патент № 2181619 Российская Федерация, МПК<sup>7</sup> B01D63/06. Аппарат для мембранного концентрирования / Лобасенко Б.А., Сафонов А.А., Лобасенко Р.Б., Черданцева А.А.; заявитель и патентообладатель Кемеровский технологический институт пищевой промышленности. – № 2000127005/12; заявл. 27.10.00; опубл. 27.04.02.
10. Патент № 2217224 Российская Федерация, МПК<sup>7</sup> B01D63/06. Аппарат для мембранного концентрирования / Лобасенко Б.А., Павский В.А., Механошина А.А., Лошинина Т.В.; заявитель и патентообладатель Кемеровский технологический институт пищевой промышленности. – № 2002113872/12; заявл. 27.05.02; опубл. 27.11.03.
11. Гарифулин, Р.Ш. Мембранный аппарат с отводом диффузионного слоя / Р.Ш. Гарифулин, А.А. Пашкевич, Р.В. Котляров, С.А. Иванова // Ионный перенос в органических и неорганических мембранах: материалы междунар. конф. с элементами науч. школы для молодежи. – Кемерово, 2010. – С. 149–151.
12. Иванова, С.А. Исследование процесса мембранного концентрирования белков молочного сырья на основе стохастического подхода / С.А. Иванова, В.А. Павский, Т.В. Чаплыгина // Ионный перенос в органических и неорганических мембранах: материалы междунар. конф. с элементами науч. школы для молодежи. – Кемерово, 2010. – С. 151–155.
13. Химическая энциклопедия: в 5 т. Т. 2. – М.: Сов. энцикл., 1990. – 671 с.
14. Саати, Т.Л. Элементы теории массового обслуживания и ее приложения / Т.Л. Саати. – М.: Сов. радио, 1965. – 511 с.
15. Иванова, С.А. Стохастическая модель работы пеногенератора на основе теории марковских процессов / С.А. Иванова, В.А. Павский, А.Ю. Просеков // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2010. – № 6. – С. 18–20.
16. Khoroshevsky, V.G. Calculating the efficiency indices of distributed computer system functioning / V.G. Khoroshevsky, V.A. Pavsky // Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing. – 2008. – V. 44. – № 2. – P. 95–104.
17. Yustratov, V.P. Mathematical modeling of electro dialysis demineralization using a stochastic model / V.P. Yustratov, V.A. Pavskii, T.A. Krasnova, S.A. Ivanova // Theoretical foundations of chemical engineering. – 2005. – V. 39. – № 3. – P. 259–262.
18. Лобасенко, Б.А. Мембранный аппарат, использующий отвод диффузионного слоя с поверхности мембраны / Б.А. Лобасенко, С.А. Иванова // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2001. – № 7. – С. 57–59.
19. Горбатова, К.К. Биохимия молока и молочных продуктов / К.К. Горбатова. – СПб.: ГИОРД, 2004. – 320 с.



20. Дытнерский, Ю.И. Баромембранные процессы. Теория и расчет / Ю.И. Дытнерский. – М.: Химия, 1986. – 272 с.
21. Шалыгина, А.М. Общая технология молока и молочных продуктов / А.М. Шалыгина, Л.В. Калинина. – М.: КолосС, 2004. – 200 с.
22. Лобасенко, Б.А. Процессы гидромеханического разделения пищевых сред / Б.А. Лобасенко, Ю.В. Космодемьянский. – Кемерово, 1999. – 103 с.
23. Grandison, A.S. Hydrodynamic factors affecting flux and fouling during ultrafiltration of skimmed milk / A.S. Grandison, W. Youravong, M.J. Lewis // Lait. – 2000. – V. 80. – P. 165–174.
24. Hinrichs, J. UHT processed milk concentrates / J. Hinrichs // Lait. – 2000. – V. 80. – P. 15–23.
25. Kelly, Ph.M. Implementation of integrated membrane processes for pilot scale development of fractionated milk components / Ph.M. Kelly, J. Kelly, R. Mehra, D.J. Oldfield, E. Raggett, B.T. O’Kennedy // Lait. – 2000. – V. 80. – P. 139–153.
26. Ахназарова, С.Л. Методы оптимизации эксперимента в химической технологии / С.Л. Ахназарова, В.В. Кафаров. – М.: Высшая школа, 1985. – 327 с.
27. Мулдер, М. Введение в мембранную технологию / М. Мулдер. – М.: Мир, 1999. – 513 с.
28. Иванец, В.Н. Методы интенсификации гидромеханических процессов / В.Н. Иванец, Б.А. Лобасенко. – Кемерово, 2003. – 84 с.

ГОУ ВПО «Кемеровский технологический институт  
пищевой промышленности»,  
650056, Россия, г. Кемерово, б-р Строителей, 47.  
Тел./факс: (3842) 73-40-40  
e-mail: office@kemtipp.ru

## SUMMARY

**S.A. Ivanova, R.Sh. Garifulin, T.V. Chaplygina**

### **Modeling of membrane concentration of dairy raw material proteins**

Stochastic model, which allows modeling of the membrane concentration of milk proteins when changing technological process parameter values is presented. Based on this model rational values of these parameters have been defined and recommendations on conducting the process have been developed.

Dairy raw material, ultrafiltration, stochastic model.

Kemerovo Institute of Food Science and Technology  
47, Boulevard Stroiteley, Kemerovo, 650056, Russia  
Phone/Fax: +7(3842) 73-40-40  
e-mail: office@kemtipp.ru

