

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГОЗАТРАТ И ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОУЛЬТРАФИЛЬТРАЦИОННОГО КОНЦЕНТРИРОВАНИЯ И ДЕМИНЕРАЛИЗАЦИИ ПРОМЫШЛЕННЫХ РАСТВОРОВ

© С.И. Лазарев¹⁾, В.Ю. Богомолов¹⁾, А.А. Арзамасцев^{1,2)},
И.В. Хорохорина¹⁾, А.А. Насонов¹⁾

¹⁾ Тамбовский государственный технический университет
392000, Российская Федерация, г. Тамбов, ул. Советская, 106
E-mail: geometry@mail.nnn.tstu.ru

²⁾ Тамбовский государственный университет им. Г.Р. Державина
392000, Российская Федерация, г. Тамбов, ул. Интернациональная, 33
E-mail: arz_sci@mail.ru

Предложена методика, которая реализована на примере расчета энергозатрат для концентрирования и деминерализации подсырной сыворотки. Для повышения эффективности и деминерализации промышленных растворов разработана и запатентована конструкция электроультрафильтрационного аппарата плоскокамерного типа для концентрирования и деминерализации подсырной сыворотки с импульсным подводом тока. Данный аппарат позволяет одновременно осуществлять три технологические операции (концентрирование, деминерализацию и процесс охлаждения или нагрева сыворотки), что интенсифицирует процесс концентрирования и снижает себестоимость по сравнению с аналогичными плоскокамерными аппаратами.

Ключевые слова: электроультрафильтрационный процесс; концентрирование; деминерализация; промышленный раствор; технологическая схема

В России на производстве сыра специализируются, по разным данным, более 100–150 заводов. Одним из таких предприятий является ООО «Бондарский сыродельный завод». Процесс производства сыра на данном предприятии организован по классической схеме получения сычужных сыров – сырная масса свертывается из молока под действием сычужных ферментов, добавляемых в незначительных количествах к массе молока. Вторичным продуктом при такой схеме производства является молочная, или подсырная сыворотка – жидкая масса, остающаяся после извлечения белковых компонентов молока, свернувшихся под действием сычужных ферментов. При этом масса продукта составляет $\omega_{сыр} = 10\text{--}20\%$ массы исходного молока, а $\omega_{сыв} = 80\text{--}90\%$ массы приходится на молочную сыворотку [1–4].

Содержание белков в молочной сыворотке зависит от вида вырабатываемого сыра и способа его производства, но при любых способах производства в сыворотке остаются полноценные белки. Кроме того, в сыворотку переходят все водорастворимые витамины, соли и микроэлементы молока. Поэтому вторичное использование сыворотки является перспективным путем для молочной промышленности.

Использование молочной сыворотки в качестве вторичного молочного сырья подразумевает ее концентрирование и извлечение концентратов полезных компонентов. Существуют различные пути такой переработки. На рис. 1 приведена технологическая схема, по которой производится концентрирование и деминерализация растворов, содержащих в своем составе белок

и калиевые соли, образующиеся при переработке молока на сыр.

Наиболее эффективны при концентрировании молочной сыворотки мембранные методы [5–7]. Помимо высоких коэффициентов задержания ценных компонентов и значительных величин производительности оборудования, мембранные методы удобны тем, что при их применении возможно совмещение процессов концентрирования сыворотки и ее деминерализации под действием электрического поля. Зарубежная практика показала выгодность использования мембранных технологий для концентрирования вторичного молочного сырья. Рассмотрим возможность применения таких технологий в России на примере Бондарского сыродельного завода.

Производство сыра на данном предприятии начинается с наполнения трех сыроизготовителей объемом $V_i = 5000$ л каждый. Для этой операции задействуется насосное оборудование производительностью $G_{нап} = 10$ м³/ч. Энергопотребление насосов составляет $W_{нас} = 18$ кВт·ч. При полной загрузке технологической линии на наполнение сыроизготовителей затрачивается $\tau_{нап} = 1,5$ ч времени и энергии:

$$N_{нап} = W_{нас} \cdot \tau_{нап} = 27 \text{ кВт.} \quad (1)$$

К массе молока добавляется незначительное количество сычужных ферментов и начинается перемешивание. В течение $\tau_{перем} = 1,5$ ч смесь перемешивается в сыроизготовителях. Образующаяся при этом твердая масса свернувшихся веществ рубится в сырную крошку



Рис. 1. Технологическая схема концентрирования и деминерализации белково-содержащих растворов

Затратами энергии на перемешивание и дробление сырной массы в рамках данной работы мы можем пренебречь.

Как показала практика работы завода, выход молочной сыворотки составляет около $\omega_{\text{сыв}} = 80\%$ от массы исходного молока. После остановки сыроизготовителей из них сливается сыворотка

$$V_{\text{сыв}} = i \cdot V_i \cdot \frac{\omega_{\text{сыв}}}{100\%} = 12 \text{ т.} \quad (2)$$

При этом, согласно технологии, $\omega_{\text{б.сыр}} = 80\%$ молочных белков переходит в конечный продукт – сыр, а оставшиеся $\omega_{\text{б.сыв}} = 20\%$ – в сыворотку.

Среднее содержание белка в молоке составляет $\omega_{\text{мол}}^{\text{бел}} = 3,2\%$ по массе. В пересчете на чистый белок это означает, что из исходных $m_{\text{бел}} = 480$ кг белков в молоке объемом

$$V_{\text{мол}} = i \cdot V_i = 15\,000 \text{ л} \quad (3)$$

в сыр переходит $m_{\text{бел.сыр}} = 384$ кг, а в сыворотку – $m_{\text{бел.сыв}}^{12000} = 96$ кг.

Примерные затраты энергии на производство одного кг белка в виде сыра составят

$$N_{\text{сыр}}^{\text{бел}} = N_{\text{нап}} / m_{\text{бел.сыр}} = 27 \text{ кВт} / 384 \text{ кг} = 0,07 \text{ кВт/кг.} \quad (4)$$

Таким образом, в сыворотку объемом $V_{\text{сыв}} = 12\,000$ л перешло $m_{\text{бел.сыв}}^{12000} = 96$ кг белка.

Рассмотрим возможность концентрирования этого белка на мембранной ультрафильтрационной установке собственной разработки. Установка отличается от классических ультрафильтрационных установок наличием в камере разделения электродов для наложения электрических импульсов, с целью деминерализации сыворотки, а также наличием системы охлаждения

сыворотки в процессе концентрирования, с целью недопущения сбраживания сыворотки за счет нагревания в аппарате (патент № 2532813 RU).

Производительность предлагаемой установки в промышленном исполнении составляет $G_{\text{мем}} = 16\,000$ л/ч. Потребляемая мощность – $W_{\text{мем}} = 15$ кВт·ч. Таким образом, затраты энергии на концентрирование $V_{\text{сыв}}^{\text{вх.мем}} = 16\,000$ л сыворотки на данной установке составят $N_{\text{мем}} = 15$ кВт. При этом эффективность разделения в среднем составляет $\eta_{\text{мем}} = 85\%$. Исходя из того, что по вышеприведенным расчетам в $V_{\text{сыв}} = 12\,000$ л сыворотки содержится $m_{\text{бел.сыв}}^{12000} = 96$ кг белка, получаем содержание белка в $V_{\text{сыв}}^{\text{вх.мем}} = 16\,000$ л сыворотки – $m_{\text{бел.сыв}}^{16000} = 128$ кг.

Масса извлеченного на мембранах белка составит

$$m_{\text{бел}}^{\text{изв}} = \frac{\eta_{\text{мем}}}{100\%} \cdot m_{\text{бел.сыв}}^{16000} = 109 \text{ кг.} \quad (5)$$

При этом объем концентрата, содержащего этот белок, составит 15 % от исходного объема концентрируемой сыворотки:

$$V_{\text{кон}} = \left(1 - \frac{\eta_{\text{мем}}}{100\%}\right) \cdot V_{\text{сыв}}^{\text{вх.мем}} = 2400 \text{ л.} \quad (6)$$

Учитывая затраты энергии на процесс концентрирования, получим энергозатраты на 1 кг концентрированного белка:

$$N_{\text{сыв}}^{\text{к.бел}} = \frac{W_{\text{мем}}}{m_{\text{бел}}^{\text{извл}}} = 0,14 \text{ кВт/кг.} \quad (7)$$

После получения белкового концентрата для получения товарного продукта необходима его сушка. Получаемый после сушки продукт представляет собой сухой белый порошок со средним содержанием белка 80 %, жира 7 %, влаги 3,6 %, золы 2 %. При достаточном уровне деминерализации такой продукт подходит

для реализации на рынке под маркой КСБ-80, что означает «концентрат сывороточный белковый» с содержанием белка не менее 80 %. Такой концентрат находит широкое применение в пищевой промышленности, при производстве напитков специального назначения, молочных продуктов с повышенным содержанием белка, безалкогольных напитков, детского питания и других продуктов.

Следует отметить, что потребности России в сухом сывороточном концентрате не удовлетворяются за счет собственных производств. Имеет место импорт сывороточных концентратов [8].

Рассмотрим процесс сушки сывороточного концентрата. Существуют различные типы сушильных агрегатов для реализации этого процесса. Рассмотрим один из типовых вариантов – стандартную распылительную сушилку производительностью $G_{\text{суш}} = 600$ л/ч.

Сушка – один из наиболее энергозатратных этапов производства сухого концентрата – энергопотребление сушилки выбранного типа достигает значения $N_{\text{КСБ}}^{\text{суш.бел}} = 44$ кВт/кг на 1 кг сухого продукта.

Суммируя энергозатраты на всех этапах производства КСБ-80, получаем значение затрат энергии на производство 1 кг конечного товарного продукта:

$$N_{\text{КСБ}}^{\text{бел}} = N_{\text{КСБ}}^{\text{суш.бел}} + N_{\text{сыр}}^{\text{к.бел}} = 44,14 \text{ кВт/кг.} \quad (8)$$

С энергетической точки зрения процесс производства сыра значительно выгоднее процесса концентрирования сыворотки в продукт КСБ-80. В случае производства сыра затраты энергии в пересчете на чистый белок составляют $N_{\text{сыр}}^{\text{бел}} = 0,07$ кВт/кг, против $N_{\text{КСБ}}^{\text{бел}} = 44,14$ кВт/кг в случае производства КСБ-80. Это объясняет низкий интерес промышленности в России к переработке сыворотки [9–11].

Для анализа экономической эффективности вопроса переработки сыворотки рассмотрим получаемые продукты с учетом сложившихся в нашей стране цен на них. Приведенное выше значение энергозатрат на производство сыра, равное $N_{\text{сыр}}^{\text{бел}} = 0,07$ кВт/кг, дано в пересчете на чистый белок. Учитывая среднее содержание белка в сыре – $\omega_{\text{сыр}}^{\text{бел}} = 20\%$ – перейдем к массе конечного продукта (сыра).

По приведенным выше расчетам на производство массы сыра, в которую переходит $m_{\text{бел.сыр}} = 384$ кг молочных белков, затрачивается в среднем $N_{\text{нап}} = 27$ кВт энергии. В пересчете на сыр это означает, что на производство сыра массой

$$m_{\text{сыр}}^{384} = \frac{100\%}{\omega_{\text{сыр}}^{\text{бел}}} \cdot m_{\text{бел.сыр}} = 2 \text{ т} \quad (9)$$

затрачивается $N_{\text{нап}} = 27$ кВт энергии. В пересчете на 1 кг сыра – $N_{\text{сыр}}^{1\text{кг}} = 0,01344$ кВт энергии. При средней стоимости сыра на Российском рынке $c_{\text{сыр}} = 300$ руб./кг, на производство 1 руб. товарной продукции в виде сыра затрачивается энергии:

$$N_{\text{сыр}}^{1\text{руб}} = \frac{N_{\text{сыр}}^{1\text{кг}}}{c_{\text{сыр}}} = 0,0000448 \text{ кВт.} \quad (10)$$

Возвращаясь к полученному ранее значению энергозатрат $N_{\text{КСБ}}^{\text{бел}} = 44,14$ кВт на 1 кг КСБ-80, учитывая стоимость этого продукта $c_{\text{КСБ}} = 600$ руб./кг, получаем,

что на производство 1 руб. товарной продукции в виде КСБ-80 затрачивается энергии:

$$N_{\text{КСБ}}^{1\text{руб}} = \frac{N_{\text{КСБ}}^{\text{бел}}}{c_{\text{КСБ}}} = 0,07356666 \text{ кВт.} \quad (11)$$

Средняя стоимость 1 кВт энергии в России составляет $c_{\text{эн}} = 4$ руб./кВт. Таким образом, затраты на производство 1 руб. товарной продукции в виде сыра составляют:

$$T_{\text{сыр}}^{1\text{руб}} = N_{\text{сыр}}^{1\text{руб}} \cdot c_{\text{эн}} = 0,0000448 \text{ кВт} \cdot 4 \text{ руб./кВт} = 0,0001792 \text{ руб.} \quad (12)$$

А затраты на производство 1 руб. товарной продукции в виде КСБ-80 составляют:

$$T_{\text{КСБ}}^{1\text{руб.}} = N_{\text{КСБ}}^{1\text{руб.}} \cdot c_{\text{эн}} = 0,07356666 \text{ кВт} \cdot 4 \text{ руб./кВт} = 0,29426664 \text{ руб.} \quad (13)$$

Как видно из этих расчетов, производство концентрата КСБ-80 – процесс гораздо более затратный по сравнению с производством сыра. Однако значение затрат $T_{\text{КСБ}}^{1\text{руб.}} = 0,29426664$ руб. на 1 руб. продукта показывает, что данное производство является экономически выгодным и позволяет получать порядка 70 копеек прибыли с каждого 1 рубля конечного продукта. Кроме того, очень важен тот факт, что молочная сыворотка является побочным продуктом производства сыра. А это означает следующее. При вложении средств в концентрирование сыворотки суммы вложений будут значительно выше по сравнению с производством сыра, однако эти вложения будут возвращены после продажи продукта. А при отказе от вложений и сбросе полученной сыворотки на очистные сооружения придется оплатить услуги очистки таких стоков, а кроме того, и предусмотренные законодательством РФ платежи за негативное воздействие на окружающую среду. И эти средства уже не будут возвращены, а станут дополнительными издержками при производстве сыра.

В результате проведенных исследований по определению энергозатрат и эффективности электроультрафильтрационного концентрирования и деминерализации белковосодержащих растворов можно сделать следующие выводы.

1. Предложена обоснованная методика расчета экономической эффективности технологической линии электроультрафильтрационного концентрирования и деминерализации белковосодержащих растворов. Предложенная методика реализована на примере расчета энергозатрат для концентрирования и деминерализации подсырной сыворотки для ООО «Бондарский сыродельный завод».

2. В целях повышения эффективности и деминерализации белковосодержащих растворов разработана и запатентована (патент № 2532813 RU) конструкция электроультрафильтрационного аппарата плоскокамерного типа для концентрирования и деминерализации подсырной сыворотки с импульсным подводом тока. Данный аппарат позволяет одновременно осуществлять три технологические операции (концентрирование, деминерализацию и процесс охлаждения или нагрева сыворотки), что интенсифицирует процесс концентрирования и снижает себестоимость по сравнению с аналогичными плоскокамерными аппаратами.

3. Предложена модифицированная технологическая схема линии концентрирования и деминерализации подсырной сыворотки для ООО «Бондарский сыродельный завод» с получением сухого сывороточного концентрата, включающая ультрафильтрационный аппарат плоскокамерного типа. Схема принята к внедрению на предприятии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агаджанян А.Е., Цатурян А.О., Оганесян Г.Ж., Егян К.И., Сагиян А.С. Комплексная переработка молочной сыворотки // Химический журнал Армении. 2011. Т. 64. № 3. С. 417-428.
2. Гунькова П.И., Горбатова К.К. Биотехнологические свойства белков молока. СПб.: Гиорд, 2015. 216 с.
3. Лоу К. Все о витаминах / пер. с англ. Е. Незлобиной. М.: Крон-пресс, 2000. 352 с.
4. Храмов А.Г. Молочная сыворотка. М.: Агропромиздат, 1990. 240 с.
5. Семенов А.Г., Лобасенко Б.А. Мембранные методы в технологии продуктов на основе молока и молочной сыворотки. Кемерово: Кемеровский технологический институт пищевой промышленности, 2014. 147 с.
6. Гаврилов Г.Б., Кравченко Э.Ф., Гаврилов В.Г. Мембранные процессы для переработки молока и сыворотки // Сыроделие и маслоделие. 2013. № 6. С. 22-23.
7. Ключников А.И., Пономарев А.Н., Полянский К.К. Пилотные установки мембранной фильтрации в процессах переработки молочного сырья // Сыроделие и маслоделие. 2014. № 4. С. 32-33.
8. Трухачев В.И., Молочников В.В., Орлова Т.А. Концентраты белков молока: выделение и применение. Ставрополь: Агрус, 2009. 152 с.
9. Гаврилов Г.Б. Проблема внедрения мембранных технологий не так сложна, как кажется // Молочная промышленность. 2012. № 11. С. 46-47.
10. Зобкова З.С. Пороки молока и молочных продуктов и меры их предупреждения. М.: Молочная промышленность, 1998. 76 с.
11. Залашко М.В. Биотехнология переработки молочной сыворотки. М.: Агропромиздат, 1990. 122 с.

Поступила в редакцию 7 февраля 2017 г.

Лазарев Сергей Иванович, Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов, Российская Федерация, доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой прикладной геометрии и компьютерной графики, e-mail: geometry@mail.nnn.tstu.ru

Богомолов Владимир Юрьевич, Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов, Российская Федерация, кандидат технических наук, младший научный сотрудник кафедры прикладной геометрии и компьютерной графики, e-mail: geometry@mail.nnn.tstu.ru

Арзамасцев Александр Анатольевич, Тамбовский государственный университет им. Г.Р. Державина, г. Тамбов, Российская Федерация, доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой математического моделирования и информационных технологий, Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов, Российская Федерация, профессор кафедры прикладной геометрии и компьютерной графики, e-mail: arz_sci@mail.ru

Хорохорина Ирина Владимировна, Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов, Российская Федерация, кандидат технических наук, младший научный сотрудник кафедры прикладной геометрии и компьютерной графики, e-mail: geometry@mail.nnn.tstu.ru

Насонов Алексей Александрович, Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов, Российская Федерация, аспирант, кафедра прикладной геометрии и компьютерной графики, e-mail: geometry@mail.nnn.tstu.ru

UDC 66.08

DOI: 10.20310/1810-0198-2017-22-1-64-68

DEFINITION OF ENERGY CONSUMPTION AND EFFICIENCY OF ELECTRIC ULTRA FILTRATION CONCENTRATION AND DEMINERALIZATION OF COMMERCIAL SOLUTION

© S.I. Lazarev¹⁾, V.Y. Bogomolov¹⁾, A.A. Arzamastsev^{1,2)},
I.V. Khorokhorina¹⁾, A.A. Nasonov¹⁾

¹⁾ Tambov State Technical University

106 Sovetskaya St., Tambov, Russian Federation, 392000

E-mail: geometry@mail.nnn.tstu.ru

²⁾ Tambov State University named after G.R. Derzhavin

33 Internatsionalnaya St., Tambov, Russian Federation, 392000

E-mail: arz_sci@mail.ru

The methods, realized basing on the example of calculation of energy requirements for concentration and demineralization of cheese whey are proposed. To increase the efficiency and demineralization of industrial solutions and patented the construction of electric ultra filtration apparatus of flat-chamber type for concentration and demineralization of under cheese whey with impulse current lead was developed. This apparatus let simultaneously realize three technological operations (concentration, demineralization and process of cooling

and heating the whey). This intensifies the process of concentration and decreases prime cost comparing to the analogous flat-chamber apparatus.

Key words: electric ultra filtration process; concentration; demineralization; industrial solution; technological scheme

REFERENCES

1. Agadzhanian A.E., Tsurinyan A.O., Oganesyan G.Zh., Egyan K.I., Sagiyan A.S. Kompleksnaya pererabotka molochnoy syvorotki [Complex treatment of whey]. *Khimicheskiy zhurnal Armenii – Chemical Journal of Armenia*, 2011, vol. 64, no. 3, pp. 417-428. (In Russian).
2. Gun'kova P.I., Gorbatova K.K. *Biotehnologicheskie svoystva belkov moloka* [Biotechnological Features of Lactoprotein]. St. Petersburg, Giord Publ., 2015, 216 p. (In Russian).
3. Lou K. *Vse o vitaminakh* [Everything About Vitamins]. Moscow, Kron-press Publ., 2000, 352 p. (In Russian).
4. Khrantsov A.G. *Molochnaya syvorotka* [Milk Whey]. Moscow, Agropromizdat Publ., 1990, 240 p. (In Russian).
5. Semenov A.G., Lobasenko B.A. *Membrannye metody v tekhnologii produktov na osnove moloka i molochnoy syvorotki* [Membrane Method in Technology of Products basing on Milk and Milk Whey]. Kemerovo, Kemerovo Technological Institute of Food Industry Publ., 2014, 147 p. (In Russian).
6. Gavrilov G.B., Kravchenko E.F., Gavrilov V.G. Membrannye protsessy dlya pererabotki moloka i syvorotki [Membrane processes for processing milk and whey]. *Syrodelle i maslodelie – Cheesemaking and Buttermaking*, 2013, no. 6, pp. 22-23. (In Russian).
7. Klyuchnikov A.I., Ponomarev A.N., Polyanskiy K.K. Pilotnye ustanovki membrannoy fil'tratsii v protsessakh pererabotki molochnogo syr'ya [Pilot plants for membrane filtration in the operation for raw milk materials processing]. *Syrodelle i maslodelie – Cheesemaking and Buttermaking*, 2014, no. 4, pp. 32-33. (In Russian).
8. Trukhachev V.I., Molochnikov V.V., Orlova T.A. *Kontsestraty belkov moloka: vydelenie i primeneniye* [Concentration of Milk Proteins: Discharge and Use]. Stavropol, Agrus Publ., 2009, 152 p. (In Russian).
9. Gavrilov G.B. Problema vnedreniya membrannykh tekhnologiy ne tak slozhna, kak kazhetsya [The problem of introducing membrane technologies is not such complicated as it seems]. *Molochnaya promyshlennost' – Dairy Industry*, 2012, no. 11, pp. 46-47. (In Russian).
10. Zobkova Z.S. *Poroki moloka i molochnykh produktov i mery ikh preduprezhdeniya* [Milk Waste and Milk Products and the Measures of their Prevention]. Moscow, Dairy Industry Publ., 1998, 76 p. (In Russian).
11. Zalashko M.V. *Biotehnologiya pererabotki molochnoy syvorotki* [Biotechnological of Milk Whey Recycling]. Moscow, Agropromizdat Publ., 1990, 122 p. (In Russian).

Received 7 February 2017

Lazarev Sergey Ivanovich, Tambov State Technical University, Tambov, Russian Federation, Doctor of Technics, Professor, Head of Applied Geometry and Computer Graphics Department, e-mail: geometry@mail.nnn.tstu.ru

Bogomolov Vladimir Yurevich, Tambov State Technical University, Tambov, Russian Federation, Candidate of Technics, Junior Research Worker Applied Geometry and Computer Graphics Department, e-mail: geometry@mail.nnn.tstu.ru

Arzamastsev Aleksander Anatolevich, Tambov State University named after G.R. Derzhavin, Tambov, Russian Federation, Doctor of Technics, Professor, Head of Mathematical Modeling and Information Technologies Department; Tambov State Technical University, Tambov, Russian Federation, Professor of Applied Geometry and Computer Graphics Department, e-mail: arz_sci@mail.ru

Khorokhorina Irina Vladimirovna, Tambov State Technical University, Tambov, Russian Federation, Candidate of Technics, Junior Research Worker Applied Geometry and Computer Graphics Department, e-mail: geometry@mail.nnn.tstu.ru

Nasonov Aleksey Aleksandrovich, Tambov State Technical University, Tambov, Russian Federation, Post-graduate Student, Applied Geometry and Computer Graphics Department, e-mail: geometry@mail.nnn.tstu.ru

Информация для цитирования:

Лазарев С.И., Богомолов В.Ю., Арзамасцев А.А., Хорохорина И.В., Насонов А.А. Определение энергозатрат и эффективности электроультрафильтрационного концентрирования и деминерализации промышленных растворов // Вестник Тамбовского университета. Серия Естественные и технические науки. Тамбов, 2017. Т. 22. Вып. 1. С. 64-68. DOI: 10.20310/1810-0198-2016-22-1-64-68

Lazarev S.I., Bogomolov V.Y., Arzamastsev A.A., Khorokhorina I.V., Nasonov A.A. Opredelenie energozatrat i effektivnosti elektroul'trafil'tratsionnogo kontsentrirovaniya i demineralizatsii promyshlennykh rastvorov [Definition of energy consumption and efficiency of electric ultra filtration concentration and demineralization of commercial solutions]. *Vestnik Tambovskogo universiteta. Seriya Estestvennye i tekhnicheskie nauki – Tambov University Reports. Series: Natural and Technical Sciences*, 2017, vol. 22, no. 1, pp. 64-68. DOI: 10.20310/1810-0198-2017-22-1-64-68 (In Russian).