

УДК 664.02/08

Исследование эффективности предварительной подготовки молочных продуктов к переработке

Д-р техн. наук Е. И. ВЕРБОЛОЗ¹, *канд. техн. наук* В. Т. АНТУФЬЕВ²,
Е. В. КОБЫДА³
¹elenaverboloz@mail.ru, ²antufjew2010@jandex.ru, ³elenakobyda@yandex.ru
Университет ИТМО
191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9

В работе представлен метод предварительной подготовки к переработке творожной сыворотки за счет ультразвуковой обработки. С помощью этого метода могут быть повышены качество и производительность процесса. Известные методы аналитического решения уравнения диффузии не могут быть использованы в этом случае для получения решений адекватно описывающих процесс. Указанные обстоятельства приводят к необходимости применения для уравнений приведенного типа конечно-разностных схем. Записано уравнение, которое было решено численно для граничных условий определенных при проведении эксперимента. Сравнение решений получаемых аналитически и численно, показывают, что для уточнения реальной картины ультрафильтрации пищевых эмульсий необходимо экспериментальное уточнение важнейших параметров этого процесса. Полученные экспериментально уравнения регрессии могут служить математическими моделями новых процессов фильтрации, которые целесообразно использовать после разработки специальных конструкций для предварительной подготовки молочных продуктов. Технически метод реализуется применением генератора ультразвука определенной мощности, которая оказывает большое влияние на консистенцию полуфабриката, а также на структурно-механические свойства, образующихся при выработке кисломолочных продуктов.

Ключевые слова: молочные продукты, структурно-механические свойства, ультразвуковое поле.

Study to efficiency of preliminary preparing the milk products to conversion

D. Sc. E. I. VERBOLOZ¹, *Ph. D.* V. T. ANTUFIEV², E. V. KOPYDA³
¹elenaverboloz@mail.ru, ²antufjew2010@jandex.ru, ³elenakobyda@yandex.ru
ITMO University
191002, Russia, St. Petersburg, Lomonosov str., 9

Method of preliminary preparation is presented in work to conversion milk of the whey to account of the ultrasonic processing. By means of this method to be an increased quality and capacity of the process. The Known methods of the analytical decision of the equation to diffusions can be not used in this case for reception of the decisions adequately describing process. The Specified circumstance bring about need of the using for thread of the brought type certainly of the schemes. The Recorded equation, which-lo is solved numerically for border conditions determined when undertaking that. The Comparison of the decisions got analytically and numerically, show that for revision of the real picture ультрафильтрации food emulsion necessary experimental revision the most important parameter this process. Got experimental equation to regressions can serve model of the new processes to filtering, which reasonable cotton wool after development special design for preliminary preparing the milk products. Technically the method is implemented by use of the generator of ultrasound of a certain power which has a great impact on a semi-finished product consistence, and also on the structural and mechanical properties, the sour-milk products which were formed in case of framing.

Keywords: milk products, structured-mechanical characteristic, ultrasonic field.

Молочная промышленность была одной из первых отраслей, в которой в начале 70-х годов за рубежом, появились ультрафильтрационные системы. Применение подобных систем для обработки сыворотки и молока росло быстрыми темпами. Ультрафильтрация использовалась, главным образом, для выделения белков из подсырной или творожной сыворотки и концентрирования молока с целью повышения выхода сыра и сокращения производственных затрат.

За рубежом в 1983 г. было продано таких установок для молочной промышленности с суммарной поверхнос-

тью фильтрации около 100000 м² мембран, в том числе для сыворотки — 80000 м² и 19000 м² — для молока. В середине 90-х годов прошлого века, в год уже продавалось для ультрафильтрации в молочной промышленности около 230 тыс. м² мембран на сумму более 50 млн \$.

В настоящее время, около 9% мирового производства сыворотки обрабатывается путем ультрафильтрации, из которой получают 50000–80000 т концентратов сывороточного белка в год в зависимости от содержания белка в сухом продукте. В настоящее время производится более

150000–200000 т/год различных мягких сыров с использованием этой технологии, например, в Дании и Франции с применением ультрафильтрации вырабатывается около 30% общего объема натуральных сычужных сыров.

В России первые отечественные промышленные установки для ультрафильтрации молока и сыворотки появились в середине 80-х годов на ряде заводов: НПО «Углич», Владимирском молочном комбинате, Воронежском городском молочном заводе, производственно-экспериментальном заводе ВНИКМИ. Суммарная поверхность мембран в этих установках составляла около 1000 м². В установках чаще всего использовались плоско-камерные модули.

С 2000 г. вновь появляется интерес со стороны отечественных производителей молочных продуктов к ультрафильтрации, которая отделяет коллоидные частицы и высокомолекулярные вещества, размер которых лежит в диапазоне 0,001–0,05 мкм или 5000–500000 дальтон. В этот диапазон попадают казеин и сывороточные белки.

Ультрафильтрацию можно отнести к процессам, протекающим при относительно низком давлении (менее 12 кгс/см²). В то время как, для проведения, например, процесса обратного осмоса необходимы давления около 20 кгс/см² и более.

Более широкое использование описанных подходов в переработке молочного сырья сдерживалось его недостаточно высокой энергетической эффективностью.

Известна эффективность воздействия на структурно-механические свойства сложных полимерных систем ультразвукового поля [1–3], которая частично решает эти проблемы.

Полученные ранее результаты исследований об эффективности такого влияния на пищевые среды позволили, например, авторам работы [4] записать уравнение диффузии в виде

$$\frac{\partial c}{\partial x} = \frac{B}{(A-1,5x)(1-y^2)} \cdot \frac{\partial^2 c}{\partial^2 y} - \frac{(11-2y-y^2)}{16(A-1,5x)(1+y)} \cdot \frac{\partial c}{\partial y},$$

где A, B — коэффициенты диффузии растворенного вещества в растворителе, зависящие от уровня ультразвукового воздействия; c — нормированная концентрация; h — половина высоты канала; x — координата параллельная мембране; y — координата нормальная к поверхности мембраны.

$A = 1,5w/w_0$; $B = D/(w_0/h)$, здесь w — скорость потока разделяемого раствора в канале; w_0 — скорость прохождения раствора через мембрану.

Известные методы аналитического решения уравнения диффузии не могут быть использованы в этом случае для получения решений адекватно описывающих процесс.

Указанные обстоятельства приводят к необходимости применения для уравнений приведенного типа конечно-разностных схем.

Записанное уравнение было решено численно для граничных условий, определенных при проведении эксперимента.

Поскольку коэффициенты при первой и второй производных концентрации получены для конкретных условий реализации процесса диффузии, то вызывает интерес вопрос о таких условиях, при которых процесс

разделения происходил бы наиболее интенсивно. С этой целью решены аналогичные уравнения для целого ряда комбинаций коэффициентов отвечающих различным условиям протекания процесса. В том числе для белково-липидных композиций, подготовленных специальным образом, например обработкой ультразвуковым полем, которая определенным образом меняет их физико-механические свойства.

Соответствующие решения показаны на рис. 1 с учетом преобразования координат ($t = x/w$).

Результаты вычислений свидетельствуют о том, что предварительная подготовка разделяемой композиции влияет на процесс диффузии, хотя режимы такой обработки по-разному влияют на отдельные компоненты разделяемой смеси.

Сравнение решений получаемых аналитически и численно, показывают, что для уточнения реальной картины ультрафильтрации пищевых эмульсий необходимо экспериментальное уточнение важнейших параметров этого процесса.

Поскольку на основании литературных данных [5–8] можно предположить зависимость констант фильтрации от характеристик ультразвуковой обработки, в ходе планирования эксперимента в качестве варьируемых выбирались:

- время обработки пищевой эмульсии в ультразвуковом поле τ , с;
- мощность генератора W , кВт.

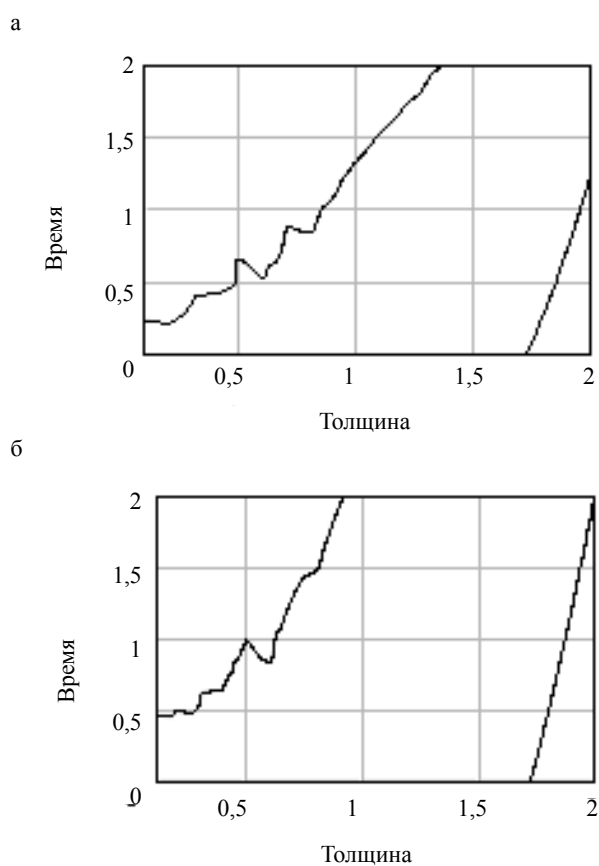


Рис. 1. Динамика диффузии компонентов творожной сыворотки в полимерной мембране [5]:
а — без предварительной подготовки;
б — обработанной в ультразвуковом поле

В соответствии с принятыми интервалами варьирования кодированные переменные записывались в виде

$$X_1 = (\tau - 180)/85 \text{ и } X_2 = (W - 125)/46.$$

Для детального исследования влияния указанных параметров на константы фильтрования для разработки рекомендаций по реализации процесса фильтрации целесообразно провести факторный эксперимент, выбрав указанные выше интервалы в качестве интервалов варьирования изменяемых факторов [9].

На первом этапе проведения эксперимента искали зависимость эксплуатационных параметров рабочих органов, принятых в качестве функций отклика, от варьируемых параметров в виде

$$Y = a_0 + a_1 X_1 + a_2 X_2.$$

Достаточно высокая точность поддержания выбранных факторов на заданных уровнях, выявленная в ходе предварительных исследований, позволила для дублирования ограничиться тремя параллельными опытами.

Рандомизировав последовательность опытов, при помощи таблицы случайных чисел, для устранения влияния случайных погрешностей, матрицы планирования эксперимента записывали в виде специальных таблиц.

После испытания образцов, результаты заносились в столбцы, отведенные для функций отклика:

Y_1 — константа фильтрации A ;

Y_2 — константа фильтрации B .

Для получения статистически достоверной математической модели при анализе экспериментальных данных проверялась однородность дисперсий выборок функций отклика Y_1 и Y_2 .

Анализ полученных уравнений регрессии проводили графически, для чего строили соответствующие графики поверхностей изучаемых функций отклика (рис. 2).

На построенных графиках по оси OX отложено время обработки ультразвуковым поле τ , а по оси OY — мощность генератора W .

Из графика 2, а следует, что наиболее высокое значение A реализуется, скорее всего, при достаточно большом времени обработки и малых индукциях магнитного поля. При этом, при небольшом времени $X < 4$, аналогич-

ное значение коэффициента A может быть достигнуто и при значительных индукциях магнитного поля.

Данные графика, представленного на рис. 2, б, свидетельствует о том, что с точки зрения коэффициента фильтрации B процесс имеет явно выраженный экстремум.

Точное определение области экстремума, т. е. значений изменяемых параметров, при которых достигается экстремальное значение фильтрационных характеристик, определяется дифференцированием полученного уравнения и проверкой критерия Сильвестра [9–10]. Вычисление величины этого критерия и определение его знака [6–12] производится по приведенной формуле

$$Y = \partial^2 Y / \partial^2 X_1 \times \partial^2 Y / \partial^2 X_2 - (\partial^2 Y / \partial X_1 \partial X_2)^2$$

Для функции отклика Y_1 величина такого критерия отрицательна и поэтому экстремум отсутствует. В случае функции отклика Y_2 критерий Сильвестра положителен, а вторая производная по X_1 отрицательна. Это говорит о наличии максимума функции Y_2 для определенных значений аргументов. Для их вычисления необходимо приравнять нулю первые производные и решить соответствующую систему уравнений

$$\partial Y_2 / \partial X_1 = 0; \partial Y_2 / \partial X_2 = 0.$$

Найденными решениями записанной системы уравнений являются $X_1 = 0,71$ и $X_2 = -0,41$.

С другой стороны, для заранее заданных значений Y_1 и Y_2 могут быть подобраны величины коэффициентов фильтрации, удовлетворяющие заказчика по технологическим или экономическим соображениям.

Таким образом, полученные экспериментально уравнения регрессии могут служить математическими моделями новых процессов фильтрации, которые целесообразно использовать после разработки специальных конструкций для предварительной подготовки молочных продуктов.

Выводы

1. Предложена модель обработки перерабатываемого молочного продукта в ультразвуковом поле. Экспериментально выявлены рациональные режимы обработки различных молочных продуктов, в том числе величина мощности ультразвукового генератора.

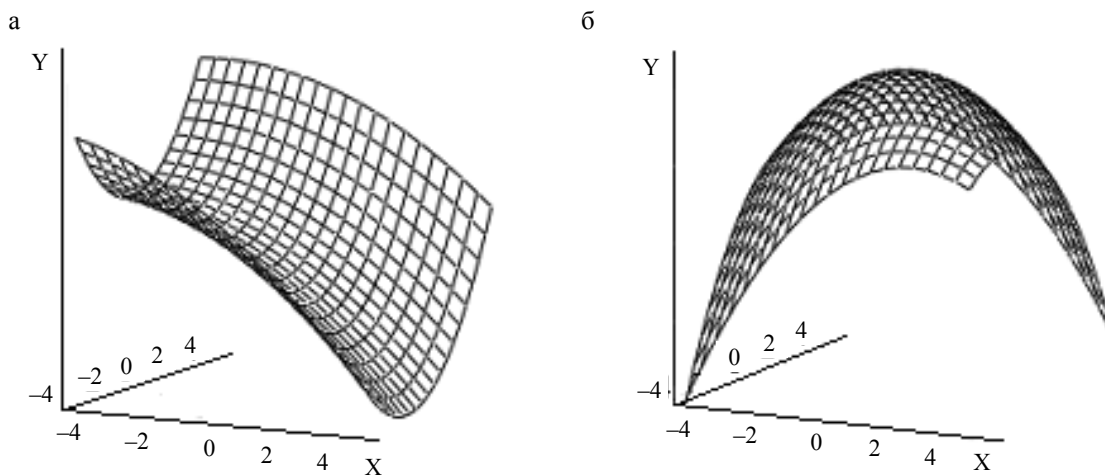


Рис. 2. Графическое изображение поверхностей отклика: а — Y_1 ; б — Y_2

2. Наиболее высокое значение константы фильтрации A , реализуется при достаточно большом времени обработки и малых индукциях магнитного поля. При этом при небольшом времени $X < 4$ аналогичное значение коэффициента A может быть достигнуто и при значительных индукциях магнитного поля.

3. Предложена конструкция аппарата для обработки молочных продуктов в ультразвуковом поле.

4. Для заданных значений константы фильтрации A и константы фильтрации B могут быть подобраны величины коэффициентов фильтрации, удовлетворяющие заказчика по технологическим или экономическим соображениям.

Список литературы

1. Сенкевич Т., Ридель К. Л. Молочная сыворотка, переработка и использование в агропромышленном комплексе. — М.: Агропромиздат, 1989.
2. Амосова М. А., Антупьев В. Т., Громцев С. А., Пурмал М. Я. Способы и методы повышения характеристик газового оборудования общественного питания. // Процессы и аппараты пищевых производств. 2009. № 1. С. 12–22.
3. Верболоз Е. И., Пальчиков А. Н., Антупьев В. Т., Кобыда Е. В. Исследование разбухания макаронных прядей в процессе прессования в поле ультразвука. // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия. «Процессы и аппараты пищевых производств». 2014. № 1. С. 15.
4. Дытнерский Ю. И., Дмитриев Е. А. Труды МХТИ им. Д. И. Менделеева, 1982. Вып. 122. с. 64–72
5. Алексеев Г. В., Вороненко Б. А., Лукин Н. И. Математические методы в пищевой инженерии. — СПб.: ЛАНЬ, 2012. 176 с.
6. Зув Н. А., Савельева О. В., Пальчиков А. Н., Андричук В. О. Зависимость качества измельчения от площадей полезных сечений механизма экструдирования и резания волчка // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия. «Процессы и аппараты пищевых производств». 2014. № 1. С. 26.
7. Алексеев Г. В., Верболоз Е. И., Ковалев Н. Г., Лагуненков П. А., Тарасов Е. Н. Устройство для разделения жидкостей. Патент на изобретение RUS 2239485 14.07.2003
8. Арет В. А., Алексеев Г. В., Верболоз Е. И., Кондратов А. В. Изучение режимов кавитационного разрушения пищевого сырья как элемента нанотехнологий. // Известия СПбГУНиПТ. 2007. № 3. С. 29.
9. Алексеев Г. В., Верболоз Е. И. Современные подходы к рациональному использованию ресурсов при первичной обработке пищевого сырья. // Вестник Международной академии холода. 2003. № 4. С. 35–39.
10. Арет В. А., Алексеев Г. В., Верболоз Е. И., Кондратов А. В. Возможности управления процессом измельчения путем изменения структурно-механических свойств пищевой смеси. // Известия СПбГУНиПТ. 2008. № 4. С. 54–58.

References

1. Senkevich T., Ridel' K. L. Whey, processing and use in agro-industrial complex. — Moscow: Agropromizdat, 1989. (in Russian).
2. Amosova M. A., Antuf'ev V. T., Gromtsev S. A., Purmal M. Ya. Methods and methods of increase of characteristics of the gas equipment of public catering. *Protsessy i apparaty pishchevykh proizvodstv*. 2009. No 1. p. 12–22. (in Russian).
3. Verboloz E. I., Pal'chikov A. N., Antuf'ev V. T., Kobysda E. V. Study on the swelling pasta strands under the influence of ultrasonic vibrations in the process of pressing. *Nauchnyi zhurnal NIU ITMO. Seriya. «Protsessy i apparaty pishchevykh proizvodstv»*. 2014. No 1. p. 15. (in Russian).
4. Dytnerskii Yu. I., Dmitriev E. A. Trudy MKhTI im. D. I. Mendeleeva, 1982. Vol. 122. p. 64–72. (in Russian).
5. Alekseev G. V., Voronenko B. A., Lukin N. I. Mathematical methods in food engineering. — St. Petersburg: LAN', 2012. 176 p. (in Russian).
6. Zuev N. A., Savel'eva O. V., Pal'chikov A. N., Androshchuk V. O. The dependence of the quality of crushing of areas of useful sections of the mechanism extruding and cutting of meat vince. *Nauchnyi zhurnal NIU ITMO. Seriya. «Protsessy i apparaty pishchevykh proizvodstv»*. 2014. No 1. p. 26. (in Russian).
7. Alekseev G. V., Verboloz E. I., Kovalev N. G., Lagunenkov P. A., Tarasov E. N. The device for division of liquids. Patent na izobretenie RUS 2239485 14.07.2003. (in Russian).
8. Aret V. A., Alekseev G. V., Verboloz E. I., Kondratov A. V. Study of modes of cavitation corrupting of food raw materials as element of nanotechnologies. *Izvestiya SPbGUNIPT*. 2007. No 3. p. 29. (in Russian).
9. Alekseev G. V., Verboloz E. I. Modern approaches to rational use of resources in the primary processing of food raw materials. *Vestnik Mezhdunarodnoi akademii kholoda*. 2003. No 4. p. 35–39. (in Russian).
10. Aret V. A., Alekseev G. V., Verboloz E. I., Kondratov A. V. Possibilities of process control of grinding by change of structural and mechanical properties of a food compound. *Izvestiya SPbGUNIPT*. 2008. No 4. p. 54–58. (in Russian).