

УДК 62-278:621.22

ББК 30.123

3-36

*Заславец Александр Алексеевич, соискатель кафедры машин и аппаратов пищевых производств Кубанского государственного технологического университета, 350072, г. Краснодар, ул. Московская, 2, т. (861) 2752279;*

*Схалыхов Анзур Адамович, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры технологий, машин и оборудования пищевых производств, декан технологического факультета Майкопского государственного технологического университета, 385000, Республика Адыгея, г. Майкоп, ул. Первомайская, 191, т. (8772) 570412;*

*Кошевой Евгений Пантелеевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой машин и аппаратов пищевых производств Кубанского государственного технологического университета, 350072, г. Краснодар, ул. Московская, 2, т. (861) 2752279;*

*Косачев Вячеслав Степанович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры машин и аппаратов пищевых производств Кубанского государственного технологического университета, 350072, г. Краснодар, ул. Московская, 2, т. (861) 2752279;*

*Кошевая Софья Евгеньевна, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры информатики Кубанского государственного технологического университета, 350072, г. Краснодар, ул. Московская, 2, т. (861) 2752279.*

### **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МЕМБРАННОГО ЭМУЛЬГИРОВАНИЯ** (рецензирована)

*В работе проведено исследование способности и эффективности процесса мембранного эмульгирования в режиме поперечного потока.*

***Ключевые слова: эмульгирование, мембрана, поперечный поток,  
мембран-ный модуль, концентрация***

*Zaslavets Alexander Alexeevich, seeker of the Department of Machines and Equipment for Food Production of Kuban State Technological University, tel.: (861) 2752279;*

*Skhalyakhov Anzaur Adamovich, Doctor of Technical Sciences, associate professor, professor of the Department of Technology, Machinery and Food Processing Equipment, dean of the Technological Faculty of FSBEI HPE "Maikop State Technological University", tel.: (8772) 570412;*

*Koshevoi Eugenii Panteleevich, Doctor of Technical Sciences, Professor, head of the Department of Machines and Equipment for Food Production of Kuban State Technological University, tel.: (861) 2752279;*

*Kosachev Vyacheslav Stepanovich, Doctor of Technical Sciences, professor, professor of the Department of Machines and Equipment for Food Production of Kuban State Technological University, tel.: (861) 2752279;*

*Koshevaya Sophia Eugenievna, Candidate of Technical Sciences, assistant professor, associate professor of the Department of Computer Science of Kuban State Technological University, tel.: (861) 2752279.*

### **EXPERIMENTAL STUDY OF MEMBRANE EMULSIFICATION** (Reviewed)

*The ability and effectiveness of the membrane emulsification process in the cross flow mode has been investigated.*

***Keywords: emulsification, membrane cross-flow, membrane module, concentration.***

Исследования процесса мембранного эмульгирования проводились на лабораторной установке [1, 2], которая представляет собой двухконтурный гидравлический стенд, позволяющий регулировать перепад давлений во внутреннем (водяном) и внешнем (масляном) контуре.

Цель работы состояла в том, чтобы определить способности и эффективность процесса мембранного эмульгирования в режиме поперечного потока.

На первом этапе исследования мембранного эмульгирования до определения остальных факторов исследовалось влияние эмульгатора и его концентрации. В режиме поперечного потока можно ожидать влияние типа эмульгатора и его концентрации на

характеристики капель эмульсии. Так как исследование было, прежде всего, нацелено на объекты пищевой технологии эмульгатор был выбран наиболее доступный и безопасный в пищевом отношении – лецитин сои. Лецитин сои был классифицирован как нетоксичный и широко используемый в производстве пищевых продуктов. Лецитин сои использовался при концентрациях до 8 вес. % в дисперсной фазе. У используемого лецитина сои был гидрофильно-липо-фильный баланс 8, и он обеспечивал получение эмульсии «масло в воде» м/в.

Для определения размеров капель эмульсии, их количества и площади их поверхности применялся монокулярный микроскоп Levenhuk 40L и цифровая камера DCM-35 с разрешением 0,3 МПикс (с размером изображения 640x480 пикселей). Размеры капель определялись при помощи обработки фотографий эмульсии с применением программы ScorePhoto v3.0. По сравнению с оригиналом увеличения оптической системы на объективе 10x и 40x составляло 130 и 520 раз соответственно. Образец эмульсии фотографировали при вышеупомянутых увеличениях – на фотографиях с увеличением 130 раз учитывались капли с размером выше 10 мкм, на фотографиях с увеличением 520 раз учитывались капли с размером в диапазоне 1...10 мкм. Для учета охвата площади образца эмульсии, результаты, полученные при увеличении в 520 раз, помножали на коэффициент пересчета площади при разных увеличениях по формуле:

$$N_i = n_i \cdot 4^2 \cdot \frac{m_{10}}{m_{40}} \quad (1)$$

где  $N_i$  – количество капель с учетом оптического охвата площади образца разными объективами,  $n$  – суммарное число капель эмульсии 1-й фракции при увеличении 520 раз,  $m_{40}$  – число обработанных фотографий с увеличением 520 раз,  $m_{10}$  – число обработанных фотографий с увеличением 130 раз. При определении размеров капель по фотографиям погрешность определяется программой и составляет  $\pm 0,8$  мкм.

Опыт проводился следующим образом. Масло подсолнечное и вода заполняли соответствующие резервуары. Вначале включали насос сплошной фазы и устанавливался расход, чтобы скорость внутри мембраны составляла 0,6 м/с. Это произвело мембранное давление 28 кПа и таким образом дисперсная фаза подавалась под давлением 38 кПа (для этого применялся вариант установки с созданием давления в закрытом резервуаре с диспергируемой жидкостью – подсолнечным маслом – за счет подключения от баллона газа азота под давлением), что соответствовало трансмембранному давлению 10 кПа. Эксперимент был повторен с несколькими различными концентрациями эмульгатора (0,01; 0,1; 0,2; 0,4; 0,6; 0,8 и 1,0% вес). Давления стремились поддерживать постоянным, а отмеченные колебания были небольшие. Каждый опыт был выполнен в 3-х повторностях, чтобы оценить воспроизводимость. Размер капелек определяли как среднее трех измерений в каждом опыте из трех повторностей. Результаты опытов с разной концентрацией эмульгатора представлены на рисунке 1.

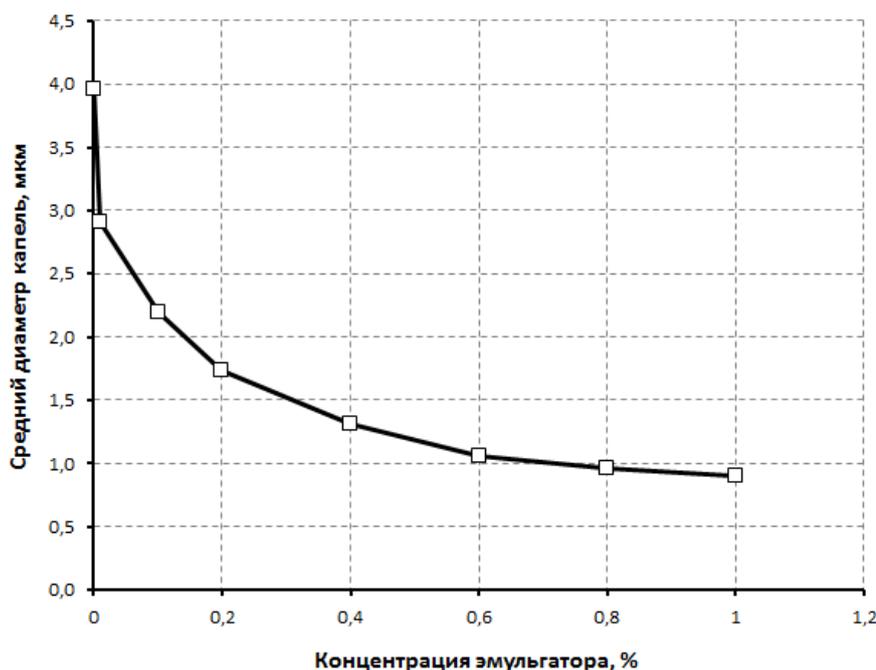


Рис. 1. Влияние концентрации соевого лецитина на размер капель масла в воде

при трансмембранном давлении 9,81 кПа и скорости потока 0,6 м/с

Результаты показывают уменьшение в размере капельки, когда концентрация эмульгатора увеличивается. Это объясняется действием эмульгатора, который уменьшает поверхностное натяжение капелек, что ведет к искривлению межфазной поверхности и меньшие капельки остаются устойчивыми.

На рисунке 2 показано влияние на средний размер капель скорости потока при различных трансмембранных давлениях.

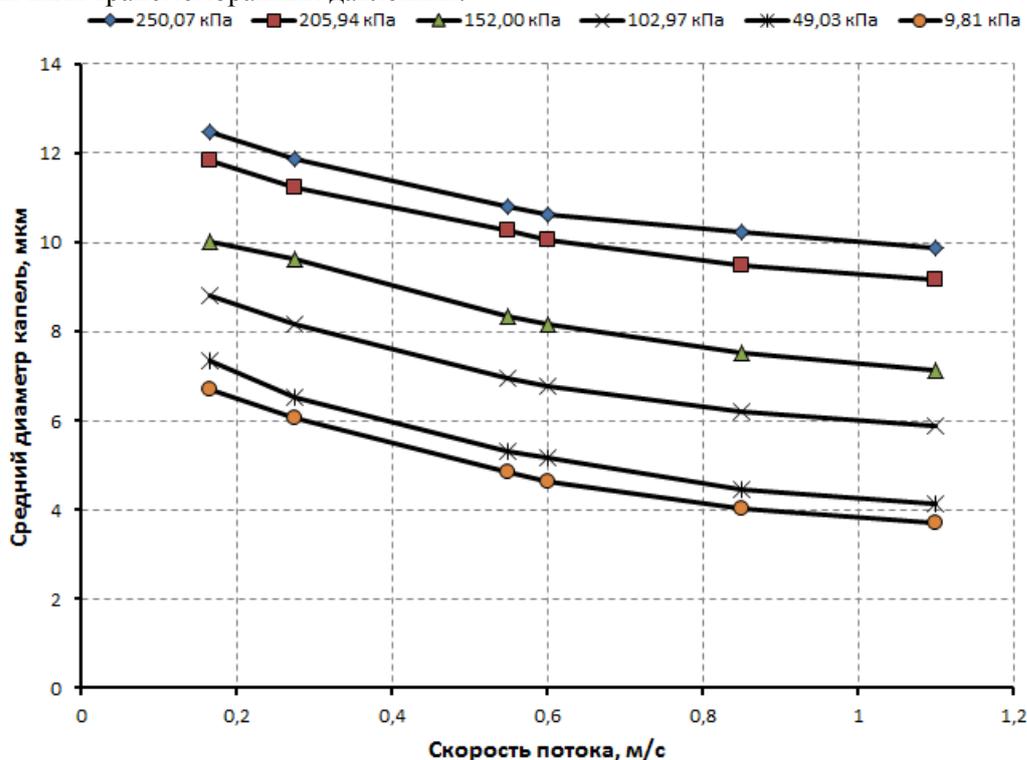


Рис. 2. Влияние изменения скорости поперечного потока на средний размер капель при различных трансмембранных давлениях, полученных с использованием керамической мембраны

Полученные зависимости от скорости не меняют свой характер и только с ростом давления размер капель возрастает.

Анализируя полученные экспериментальные данные, можем получить математическую зависимость среднего диаметра капель от скорости поперечного потока и трансмембранного давления:

$$d_K = 3,32264 \cdot u^2 - 6,48242 \cdot u + \left( -4 \times 10^{-7} \cdot \Delta P^3 + 2 \times 10^{-4} \cdot \Delta P^2 + 8,4 \times 10^{-3} \cdot \Delta P + 7,6832 \right), \text{ мкм} \quad (2)$$

где  $u$  – скорость поперечного потока, м/с;  $\Delta P$  – трансмембранное давление, кПа.

Объем дисперсной фазы – важный фактор для создания эмульсий, соответствующих требованиям определенного продукта. Представленные ранее результаты опытов получены при низком объеме дисперсной фазы, чтобы минимизировать влияние этого фактора на изучавшиеся другие эффекты, которые влияют на размер капелек эмульсии.

Объем дисперсной фазы произведенных эмульсий был изменен за счет многократной рециркуляции эмульсии, при этом все другие факторы поддерживались постоянными (опыты проводились при скорости поперечного потока 0,6 м/с и трансмембранном давлении 40 кПа. Результаты представлены на рисунке 3.

Увеличение объема масляной фазы приводит к небольшому увеличению среднего размера капелек, как результат возможности коалесценции при контакте с другими капельками. Увеличение вязкости с увеличением объема масляной фазы должно приводить к уменьшению размера капелек, но эта тенденция слабее коалесценции, что подтверждает рисунок 3.

Таким образом, результаты экспериментальных исследований показывают, что

мембранный модуль с керамической трубчатой мембраной способен просто и эффективно создать широкий диапазон эмульсий.

Эффект эмульгатора достаточен даже при относительно низкой его концентрации.

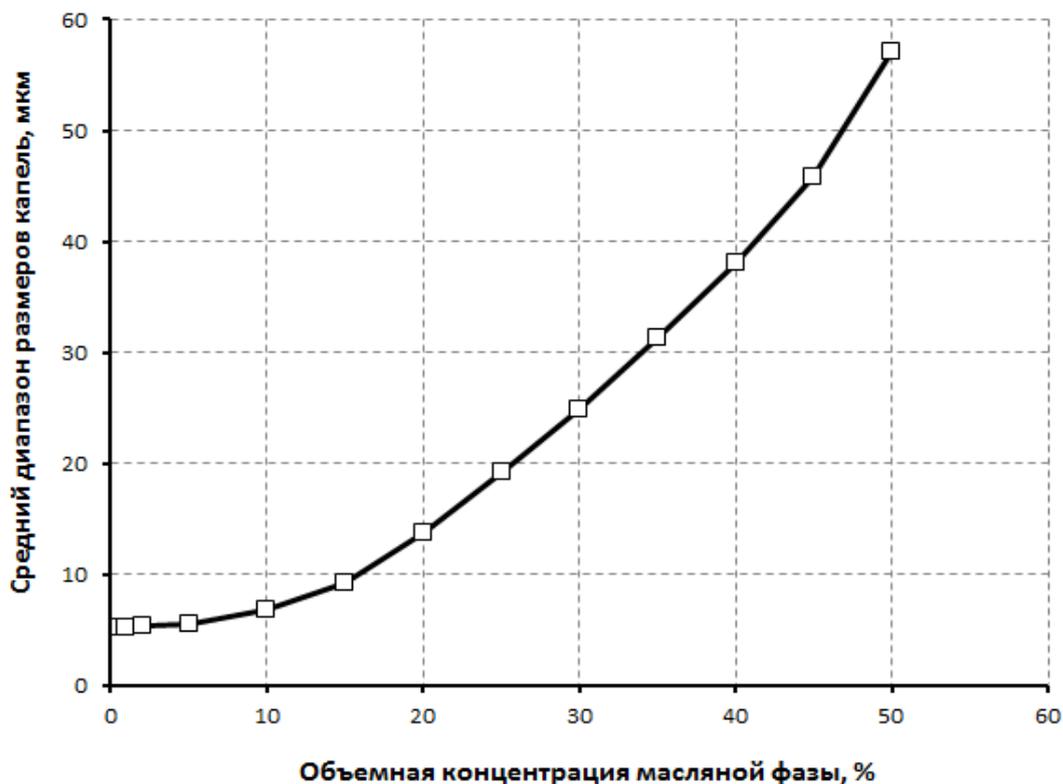


Рис. 3. Изменения среднего диапазона размеров капель, полученных мембранным эмульгированием с использованием керамической мембраны при скорости поперечного потока 0,6 м/с и трансмембранном давлении 40 кПа

Увеличение трансмембранного давления увеличивает скорость потока, что важно для увеличения производительности установки, но при этом размер капельки несколько увеличивается.

Скорость поперечного потока позволяет влиять на процесс, в частности капельки отделяются скорее и поэтому они меньше.

Требование получения эмульсий с высокой объемной концентрацией масляной фазы может быть обеспечено за счет рециркуляции эмульсии, однако при этом несколько увеличиваются размеры и разброс капель по размерам. Поэтому перспективным является организация реверсивного движения в мембране [3].

#### **Литература:**

1. Заславец А.А. Процесс мембранного эмульгирования / А.А. Заславец, Е.П. Кошевой, В.С. Косачев / Материалы междунауч. науч.-техн. интернет конф. «Энергосберегающих пр. и ап. в пищ. и хим. пр-вах» ЭПАХПП. – Воронеж, 2011. – С. 53-57.
2. Блягоз Х.Р. Моделирование мембранного процесса формирования нано- и миниэмульсий / Х.Р. Блягоз, А.А. Схалыхов, А.А. Заславец, Е.П. Кошевой, В.С. Косачев // Новые технологии. – 2011, №2. – С. 15-17.
3. Заславец А.А. Гидравлика реверсивного течения внутри мембраны контактора / А.А. Заславец, А.А. Схалыхов, Е.П. Кошевой, В.С. Косачев, С.Е. Кошевая // Новые технологии. – 2013, №1. – С. 15-17.

#### **References:**

1. Zaslavets A.A. The process of membrane emulsification / A.A. Zaslavets, E.P. Koshevoi, V.S. Kosachev / Materials of Intern. Scientific and Technical Internet conf. "Energy saving device and equipment in food and chemical production" EPAHPP. Voronezh, 2011. P. 53-57.

2. Blyagoz H.R. *Simulation of a membrane process of formation of nano-and miniemulsions* / H.R. Blyagoz, A.A. Skhalyakhov, A.A. Zaslavets, E.P. Koshevoi, V.S. Kosachev // *New Technologies*. 2011. № 2. P. 15-17.

3. Zaslavets A.A. *Hydraulics of reverse flow inside the membrane contactor* / A.A. Zaslavets, A.A. Skhalyakhov, E.P. Koshevoi, V.S. Kosachev, S.E. Koshevaya // *New Technologies*, 2013. №1. P. 15-17.