

УДК 664.3

## ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ ЭМУЛЬГАТОРОВ В ПРОИЗВОДСТВЕ ЭМУЛЬСИОННЫХ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ

Феофилактова О.В., Лабецкий В.В.

ФГБОУ ВО «Уральский Государственный Экономический Университет»,  
Екатеринбург, Россия

**Аннотация.** Рассмотрены особенности формирования стабильных тонкодисперсных пищевых эмульсий с использованием ПАВ. На основе значения числа ГЛБ сформирована комбинация эмульгаторов для получения тонкодисперсных пищевых эмульсий на основе тыквенного масла с помощью ультразвуковой гомогенизации. Изучены зависимости размера капель дисперсной фазы эмульсии от значения гидрофильно-липофильного баланса (ГЛБ) комплексного эмульгатора и концентрации тыквенного масла при различном количестве комплексного эмульгатора. Определены оптимальные параметры получения тонкодисперсных эмульсий на основе тыквенного масла с использованием комплексного эмульгатора. Исследования подтвердили возможность получения стабильных, тонкодисперсных эмульсий, стабилизированных комплексным эмульгатором, с каплями дисперсной фазы диаметром 5 мкм.

**Ключевые слова:** пищевые эмульсии, эмульгаторы, дисперсная фаза, ГЛБ, диаметр капель, ПАВ.

Эмульсионные пищевые продукты чаще всего основаны на двух типах эмульсий: масло в воде и вода в масле. Принцип эмульсии как дисперсной системы заключается в том, что в дисперсной (непрерывной, внешней) среде находятся крошечные сферические капли дисперсной (внутренней) фазы. Вещество, из которого состоят капли, считается дисперсной, дискретной или внутренней фазой.

Как правило, как водная, так и масляная фаза в эмульсии представляют собой сложные системы и характеризуются многокомпонентной структурой. В эмульсионных пищевых продуктах масляная фаза может представлять собой смесь различных по происхождению и температуре плавления жиров. Водная фаза как правило определяет органолептические свойства готовых продуктов. В неё вводят ароматизаторы, антиокислители, загустители, и другие вещества, обладающие функциональными свойствами.

В зависимости от концентрации в основе пищевых продуктов могут быть разбавленные эмульсии, доля дисперсной фазы в которых составляет до 10%,

концентрированные эмульсии, концентрация дисперсной фазы в таких эмульсиях находится в пределах от 10 % до 74% и высококонцентрированные с концентрацией дисперсной фазы от 74% и выше.

При формировании потребительских свойств эмульсионного пищевого продукта ставится задача - получить концентрированные и высококонцентрированные эмульсии повышенной стойкости. Если гомогенизировать только масляную и водную фазы, система, как правило, быстро разрушится, за счет различных механизмов, в том числе флокуляцию капель, коалесценцию, созревание по Оствальду и гравитационное разделение. Поэтому в рецептурах пищевых эмульсий необходимо применять эмульгаторы, растворимые в одной из фаз дисперсной системы.

Эмульгаторы представляют собой поверхностно-активные молекулы, способные адсорбироваться на поверхности капель, облегчая разрушение капель и защиту капель от агрегации [1, 2].

Особое место среди них занимают поверхностно-активные вещества (далее ПАВ). Процесс образования эмульсии с использованием ПАВ зависит от ряда факторов. Стойкость эмульсии определяют два фактора: поверхность натяжения фаз и межфазное натяжение. Изменить поверхностное натяжение можно с помощью регулирования поверхностной энергии. Следствием уменьшения межфазного натяжения в продукте является, происходящая на этапе эмульгирования, адсорбция. В процессе адсорбции эмульгатор должен легко переноситься на поверхность и удерживаться там для концентрирования. Такой особенностью обладают низкомолекулярные вещества, состоящие из гидрофобных и гидрофильных функциональных групп, формирующие свойства эмульгатора.

При использовании высокоэнергетических методов гомогенизации эмульгатор способствует разрушению капель за счет снижения межфазного натяжения, что способствует формированию тонкодисперсной эмульсии. При использовании низкоэнергетических методов гомогенизации, эмульгатор облегчает самопроизвольное образование мелких капель из-за его способности производить очень низкое межфазное натяжение при определенных условиях окружающей среды.

Вид эмульгатора и способ его получения зависит от типа эмульсии. При получении эмульсии масло-в-воде масляная фаза вводится в водную фазу небольшими порциями. Эмульгатор растворяется непосредственно перед внесением в водной или масляной фазе. Значение гидрофильно-липофильного баланса (далее ГЛБ) является показателем совместимости эмульгатора с маслом или водой. Термин гидрофильно-липофильный баланс характеризует соотношение гидрофильной и гидрофобной частей молекулы ПАВ. Число ГЛБ в

настоящее время является важным фактором в выборе эмульгатора для соответствующего типа эмульсии. В связи с непосредственным влиянием на качество готового продукта.

В пищевой промышленности в качестве эмульгаторов наиболее часто используются низкомолекулярные поверхностно-активные вещества, фосфолипиды, белки и полисахариды, а также их комплексы.

Выбор вида и количества эмульгатора в каждом конкретном случае зависит от концентрации жира в продукте, особенностей технологии производства и используемого оборудования. Устойчивость эмульсии под влиянием факторов, таких как рН, ионная сила, нагревание, охлаждение или длительное хранение зачастую определяется типом используемого эмульгатора.

Тип используемого эмульгатора оказывает влияние на способ гомогенизации, который может быть использован для формирования эмульсии. Многие низкомолекулярные ПАВ эффективны при производстве эмульсий с использованием низкоэнергетических методов гомогенизации. С другой стороны, белки и полисахариды обычно не так эффективны для получения эмульсий с использованием низкоэнергетических методов, как при высокоэнергетических, при том, что они являются натуральными ингредиентами и считаются наиболее предпочтительными для производства пищевых продуктов.

Способность к формированию, тонкодисперсность и стабильность эмульсии можно повысить с помощью комбинаций эмульгаторов. Например, используя сочетание липофильных и гидрофильных ПАВ можно получить тонкодисперсную эмульсию, используя как низкоэнергетические, так и высокоэнергетические методы гомогенизации.

С другой стороны, используя комплексы эмульгаторов способствует повышению стабильности эмульсии к агрегации частиц после образования.

В дополнение к своим технологическим функциям, эмульгаторы могут несущественно повысить пищевую ценность продукта, например, за счёт наличия в составе фосфолипидов, которые обладают хорошими эмульгирующими свойствами, а также являются главным липидным компонентом клеточных мембран.

Для получения тонкодисперсных эмульсий из подсолнечного и рапсового масел Leong и др. использовали Твин 80 с этанолом [3], эмульсия из льняного масла с размером капель 150 нм была получена Kentish и др. в присутствии эмульгатора Твин 40 [4], эмульсию на основе комбинации оливкового, кунжутного и соевого масел с размером капель менее 500 нм Wulff-Perez и др. получили используя Pluronic F-68 [5], при использовании комплекса

эмульгаторов таких как фосфотидилхолин, пальмитат натрия и пальмитат сахарозы Takegami и др. получена наноэмульсия на основе соевого масла [6].

Подбор эмульгатора для конкретного эмульсионного продукта целесообразно осуществлять в три этапа:

- 1) определение оптимального значения числа ГЛБ для проектируемого эмульсионного продукта;
- 2) определение наиболее оптимальных эмульгаторов из выбранной группы;
- 3) окончательная корректировка ГЛБ и расчёт количества эмульгатора в зависимости от заданных показателей будущего продукта.

Опытные образцы эмульсий были получены с помощью ультразвуковой гомогенизации при рабочей частоте 20 кГц и амплитуде 40 – 70% с использованием ультразвукового гомогенизатора мощностью 750 Вт, оснащенного зондом диаметром 13 мм [7]. Для стабилизации эмульсий использовали комплексный эмульгатор, содержащий Tween 80 и лецитин. Концентрация комплексного эмульгатора составляла 1,0-7,0 об. %. В качестве жировой фазы использовали тыквенное масло, представляющее интерес с точки зрения высокой пищевой ценности. При получении эмульсий с тыквенным маслом можно отметить сложность в формировании их стойкости за счет высокой вязкости самого масла. Для исследований использовали концентрацию тыквенного масла в диапазоне 20-50 об.%. В качестве дисперсионной среды использовали дистиллированную воду. Размер капель дисперсной фазы определяли микроскопически с помощью оптического микроскопа Olympus BX51.

В связи с тем, что значение ГЛБ эмульгатора имеет значение при формировании соответствующего типа эмульсии был произведен расчет ГЛБ комплексного эмульгатора по формуле [8]:

$$\text{ГЛБкэ} = \frac{W_{\text{ТГЛБт}} + W_{\text{ЛГЛБл}}}{W_{\text{Т}} + W_{\text{Л}}}, \quad (1)$$

где ГЛБкэ – значение ГЛБ комплексного эмульгатора,

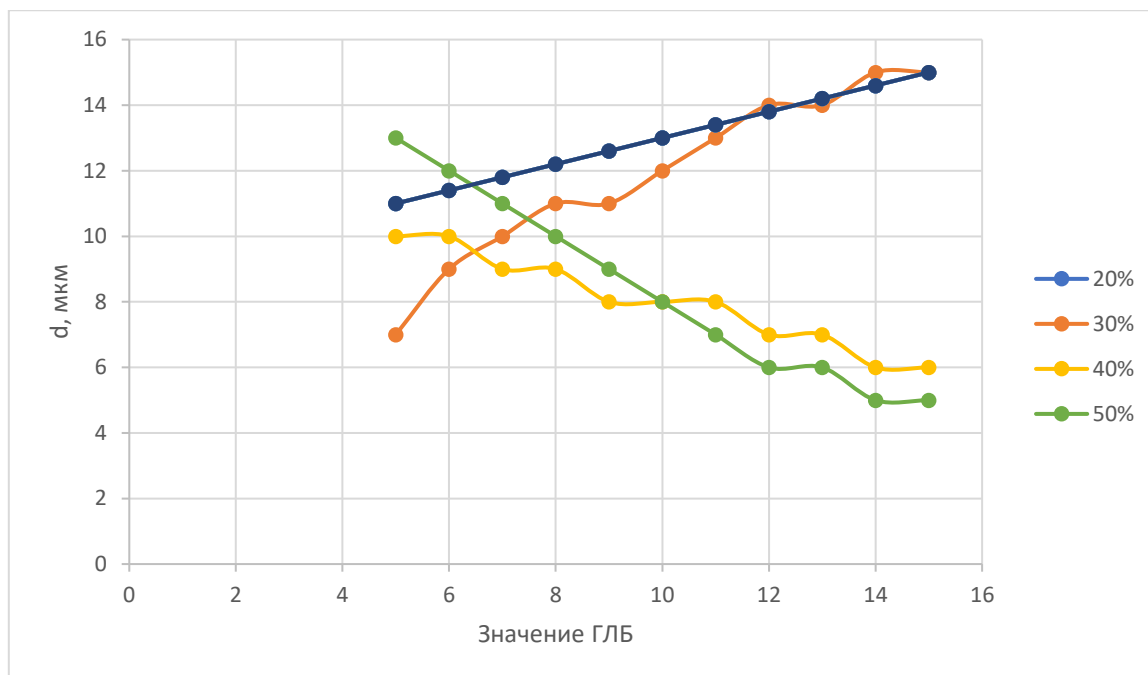
$W_{\text{Т}}$  – массовая доля Tween 80,

$W_{\text{Л}}$  – массовая доля лецитина,

ГЛБт - значение ГЛБ Tween 80,

ГЛБл - значение ГЛБ лецитина.

На следующем этапе исследования изучали влияние значения ГЛБ комплексного эмульгатора на размер капель дисперсной фазы (рис. 1).



**Рисунок 1. Зависимости размера капель дисперсной фазы от значения ГЛБ комплексного эмульгатора**

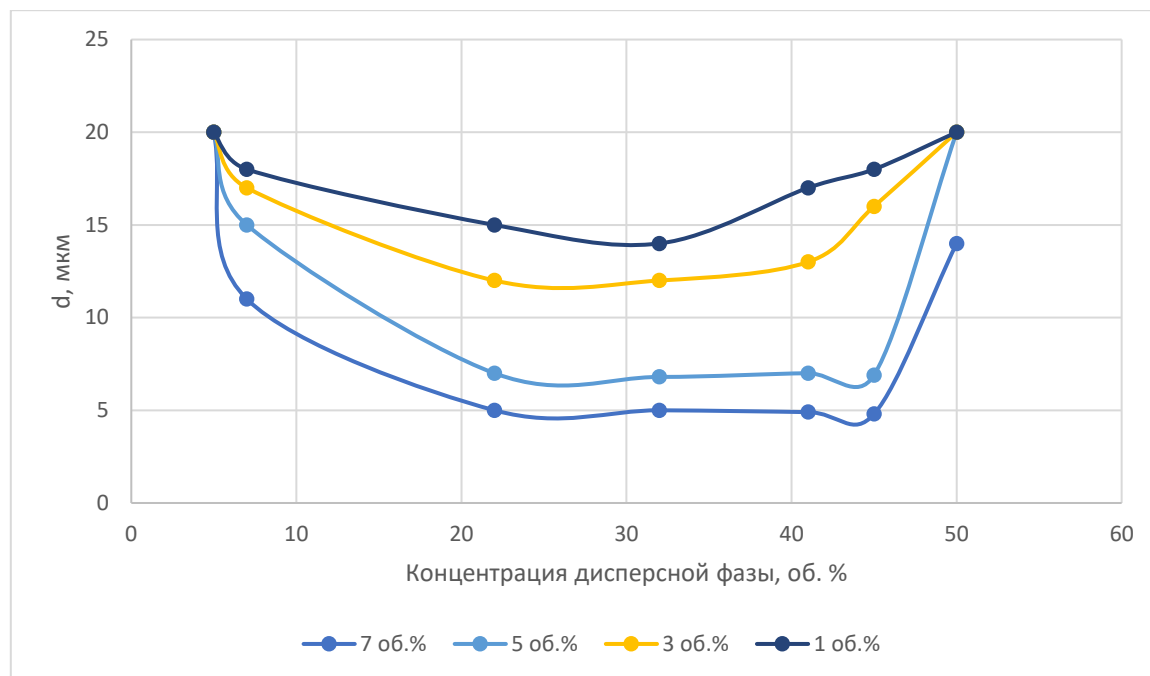
В эмульсиях с концентрацией тыквенного масла 20% и 30% с увеличением ГЛБ комплексного эмульгатора от 11 до 15, диаметр капель дисперсной фазы возрастал от 15 до 5 мкм. В эмульсиях с концентрацией тыквенного масла 40% и 50% диаметр капель дисперсной фазы снижался от 5 до 15 мкм.

Так как было отмечено выше значение ГЛБ комплексного эмульгатора рассчитывалось исходя концентрации каждого эмульгатора. В связи с этим преобладание того или иного эмульгатора способствует формированию тонкодисперсной эмульсии в зависимости от ее типа. Рост капель дисперсной фазы в эмульсиях происходил из-за уменьшения содержания в системе одного и увеличения количества другого эмульгатора. Образование более крупных капель дисперсной фазы способствует коалесценции, тогда как оптимальное соотношение эмульгаторов будет способствовать экспоненциальному уменьшению среднего диаметра капель, их более узкому распределению по размерам и увеличению дисперсности.

Размер капель в эмульсиях уменьшается также и с ростом концентрации ПАВ до определенного предела, а увеличение содержания дисперсной фазы в эмульсии, как правило, приводит к увеличению диаметра капель дисперсной фазы.

Для изучения влияния концентрации ПАВ и доли дисперсной фазы на размер капель дисперсной фазы проведены исследования эмульсий, стабилизированных комплексным эмульгатором на основе Tween 80 и лецитина.

С увеличением концентрации тыквенного масла в эмульсиях диаметр масляных капель уменьшался до 5-15 мкм, и в определенном интервале практически не изменялся (рис. 2). Дальнейший рост концентрации тыквенного масла приводил к резкому росту размера жировых капель.



**Рисунок 2. Зависимость размера капель дисперсной фазы в эмульсиях от концентрации тыквенного масла при различном количестве комплексного эмульгатора**

При низких концентрациях тыквенного масла количество комплексного эмульгатора оказывалось недостаточным для стабилизации эмульсии, что приводило к формированию более крупных капель дисперсной фазы. С другой стороны, высокие концентрации тыквенного масла способствовали резкому росту диаметра капель дисперсной фазы в связи с недостаточным количеством ПАВ в системе для того, чтобы осуществить стабилизацию жировых капель в полном объеме.

С увеличением концентрации комплексного эмульгатора от 1 до 3 об. % размер капель дисперсной фазы уменьшался от 15 и более до 10 мкм в зависимости от концентрации дисперсной фазы. При дальнейшем увеличении концентрации комплексного эмульгатора от 5 до 7 об. % диаметр капель дисперсной фазы в эмульсиях составил 5-7 мкм.

Проведены исследования по использованию комбинации эмульгаторов для получения тонкодисперсных эмульсий с помощью ультразвуковой гомогенизации. Исходя из оптимального значения числа ГЛБ эмульгатора для

проектируемого эмульсионного продукта и расчёта его количества в зависимости от заданных показателей будущего продукта можно получить стабильные, тонкодисперсные эмульсии, стабилизированные комплексным эмульгатором, с каплями дисперсной фазы диаметром 5 мкм. При этом следует учитывать особенности пищевой эмульсии, природу эмульгаторов и особенности их взаимодействия с прочими ингредиентами, входящими в состав пищевых продуктов. Исследования подтвердили эффективность обеспечения стабильности эмульсии за счет использования комплекса эмульгаторов, обладающих синергетическими свойствами.

### Литература:

1. David Julian McClements & Jiajia Rao (2011) Food-Grade Nanoemulsions: Formulation, Fabrication, Properties, Performance, Biological Fate, and Potential Toxicity, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 51:4, 285-330, DOI: 10.1080/10408398.2011.559558
2. Tereshchuk L.V., Starovoytova K.V., and Ivashina O.A. Practical Aspects of the Use of Emulsifiers in Manufacturing Emulsion Fat-and-Oil Products. *Foods and Raw Materials*, 2018, vol. 6, no. 1, pp. 30–39. DOI: 10.21603/2308-4057-2018-1-30-39.
3. Leong TS, Wooster TJ, Kentish SE, Ashokkumar M. Minimising oil droplet size using ultrasonic emulsification. *Ultrason Sonochem*. 2009 Aug;16(6):721-7. doi: 10.1016/j.ultsonch.2009.02.008. Epub 2009 Feb 27. PMID: 19321375.
4. Kentish, Sandra & Wooster, Tim & Ashokkumar, M. & Balachandran, S. & Mawson, Raymond & Simons, L.. (2008). The use of ultrasonics for nanoemulsion preparation. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 9. 170-175. 10.1016/j.ifset.2007.07.005.
5. M. Wulff-Pérez, A. Torcello-Gómez, M.J. Gálvez-Ruíz, A. Martín-Rodríguez, Stability of emulsions for parenteral feeding: Preparation and characterization of o/w nanoemulsions with natural oils and Pluronic f68 as surfactant, *Food Hydrocolloids*, Volume 23, Issue 4, 2009, Pages 1096-1102, ISSN 0268-005X, <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2008.09.017>.
6. Takegami, Shigehiko & Kitamura, Keisuke & Kawada, Hiroto & Matsumoto, Yu & Kitade, Tatsuya & Ishida, Hiroharu & Nagata, Chieyo. (2008). Preparation and Characterization of a New Lipid Nano-Emulsion Containing Two Cosurfactants, Sodium Palmitate for Droplet Size Reduction and Sucrose Palmitate for Stability Enhancement. *Chemical & pharmaceutical bulletin*. 56. 1097-102. 10.1248/cpb.56.1097.
7. Феофилактова, О. В. Получение стабильных эмульсионных систем / О. В. Феофилактова, Н. В. Заворохина, В. В. Лабеецкий // *Индустрия питания*. –

2021. – Т. 6. – № 3. – С. 76-83. – DOI 10.29141/2500-1922-2021-6-3-9. – EDN SXJZUE.

8. Щукин Е.Д., Перцов А.В., Амелина Е.А. Коллоидная химия. 4-е изд., испр., М.: Высш. шк., 2006. 444 с.

## **PRACTICAL ASPECTS OF THE USE OF EMULSIFIERS IN THE MANUFACTURE OF EMULSION FOOD PRODUCTS**

The features of the formation of stable fine food emulsions with the use of surfactants are considered. Based on the value of the HLB number, a combination of emulsifiers was formed to obtain fine food emulsions based on pumpkin seed oil using ultrasonic homogenization. The dependences of the droplet size of the dispersed phase of the emulsion on the value of the hydrophilic-lipophilic balance (HLB) of the complex emulsifier and the concentration of pumpkin seed oil were studied at various amounts of the complex emulsifier. The optimal parameters for obtaining finely dispersed emulsions based on pumpkin seed oil using a complex emulsifier have been determined. Studies have confirmed the possibility of obtaining stable, fine emulsions, stabilized by a complex emulsifier, with drops of the dispersed phase with a diameter of 5  $\mu\text{m}$ .

**Key words:** food emulsions, emulsifiers, dispersed phase, HLB, droplet diameter, surfactant.

### **Сведения об авторах:**

**Феофилактова Ольга Владимировна** – к.т.н., доцент, доцент кафедры технологии питания, Уральского Государственного Экономического Университета, E-mail: feofiov@usue.ru.

**Лабетский Владислав Владимирович** – аспирант кафедры технологии питания, Уральского Государственного Экономического Университета, E-mail: vladislav.labetskiy@mail.ru.

### **Information about authors:**

**Feofilaktova Olga Vladimirovna** – Candidate of Technical Science, Associate Professor, Associate Professor of the Food Technology Department, Ural State University of Economics, E-mail: feofiov@usue.ru.

**Labetskiy Vladislav Vladimirovich** – Post-Graduate Student of the Food Technology Department, Ural State University of Economics, E-mail: vladislav.labetskiy@mail.ru.