



Технические науки

УДК 621.436 : 662.758

ОСОБЕННОСТИ ПОДГОТОВКИ ВОДО-ТОПЛИВНЫХ ЭМУЛЬСИЙ НА ОСНОВЕ ЛЕГКИХ ТОПЛИВ

Аттия А.М.А.

*Владимирский государственный университет имени А.Г. и Н.Г. Столетовых, Владимир,
e-mail: ark6975@mail.ru*

Проведен анализ методов приготовления водо-топливных эмульсий на основе легких топлив. Отмечено, что основным принципом получения эмульсий является создание высокого напряжения сдвига в дисперсной среде для деформации и разрушения крупных капель. Обеспечение требуемого соотношения дисперсной фазы и дисперсной среды в эмульсии, а также распределения глобул по размерам зависит от характера приготовления эмульсии. С точки зрения управления качеством приготавливаемой эмульсии наиболее перспективным является система микропор.

Ключевые слова: водо-топливные эмульсии, управление качеством эмульсии

FEATURES OF THE PREPARATION OF WATER-FUEL EMULSION BASED ON LIGHT-FUELS

Attia A.M.A.

Vladimir State University named after A.G., and N.G. Stoletovikh, Vladimir, e-mail: ark6975@mail.ru

An analysis of the preparation methods of water-fuel emulsions based on light fuels has been performed. It is noticed that, the basic principle of emulsion is the creation of high shearing stresses in the dispersed medium for deforming and fractioning the large droplets. It is ensured that the required ratio of dispersed phase and dispersed medium in emulsion in addition to the droplet size distribution depend on the characteristics of the prepared emulsion. According to the control of emulsion quality, it is found that, the micro-channel is the most promising method.

Keywords: water-fuel emulsion, emulsion quality control

Свойства эмульсий зависят от их морфологии (структуры) и свойств исходных компонентов. Для водо-топливной эмульсии (ВТЭ) главными факторами являются содержание воды (дисперсной фазы), распределение капель по размерам (фракционность) и стабильность, значения которых зависят от методики приготовления эмульсий. Регулирование значений указанных параметров на стадии приготовления ВТЭ позволяет управлять характером сгорания эмульсии, т.е. воздействовать на экономические и экологические показатели процесса сгорания ВТЭ.

Сложность применения воды в смеси с легким топливом, например дизельным топливом (ДТ), заключается в том, что это две несмешивающиеся жидкости, в отличие от смесей на основе тяжелых топлив – котельного и мазутов: стабильность водо-мазутных эмульсий обеспечивается благодаря наличию в мазутах асфальтенов и нефтяных смол, которые относятся к природным поверхностно-активным веществам (ПАВ), т.е. являются естественными эмульгаторами. Целью работы является разработка методики управления качеством водо-топливной эмульсии на основе дизельного топлива на стадии ее приготовления. В связи с чем были проанализированы особенности про-

цессов получения ВТЭ в установках, в которых были реализованы различные методы приготовления.

Эмульгирование – это нестабильный процесс образования частиц вследствие снижения межфазного натяжения; отсутствие эмульгатора приводит к тому, что поверхность раздела не может поддерживать касательное напряжение, вследствие чего каждая жидкость имеет тенденцию перемещаться отдельно. *Стабильность эмульсии бывает трех видов [1], а именно:*

– физическая стабильность означает постоянство дисперсного состояния (размера капель), при этом капли не осаждаются, не соединяются, или изменяются по обращению фазы или по размерам; нестабильность эмульсии определяется осаждением капель или их выпадением, их флокуляцией – коагуляцией в результате слабых сил связи Ван-дер-Ваальса, их диспропорционированием – исчезновение мелких капель за счёт молекулярной диффузии, и обращением фаз – процессом обмена между дисперсной фазой и средой;

– химическая стабильность означает сопротивление эмульсии химическому изменению за счёт окисления жиров и масел; химическая стабильность достигается добавлением антиокислителя;



– микробиологическая стабильность означает сопротивление изменению эмульсии за счёт микробиологической активности; вообще считается, что ВТЭ всегда микробиологически устойчивы благодаря тому, что в окруженных топливом каплях воды развития микроорганизмов не происходит.

Физическая стабильность (или просто стабильность) эмульсии может быть получена применением подходящего эмульгатора, который выполняет две основные функции:

– снижение межфазного натяжения между двумя жидкостями (топливо и вода), что позволяет легче образовываться эмульсии с меньшим размером капель,

– стабилизация дисперсной фазы для предотвращения слияния глобул (т.е. препятствует расслоению эмульсии).

Эмульгатор содержит два компонента: добавляемое к воде гидрофильное вещество и добавляемое к дизельному топливу гидрофобное (липофильное); в дальнейшем вода и топливо (каждое в соединении с упомянутыми веществами) смешиваются для получения эмульсии. Соотношение между двумя веществами представляет гидрофильно-липофильный номер (ГЛН); его величина для ВТЭ находится в диапазоне 3...6 единиц. Поскольку добавление эмульгатора снижает межфазное натяжение (для ВТЭ, обычно, с 50 до 1...10 мН/м), то количество эмульгатора может быть определено по критической точке, при которой его дополнительное добавление не приводит к изменению межфазного натяжения и размера капель.

Процесс эмульгирования широко используется во многих областях промышленности, в частности, косметике, изготовлении фармацевтических препаратов, пищевой и нефтяной. Главным принципом производства эмульсии является обеспечение высокого напряжения сдвига в дисперсной среде для деформации и разрушения крупных капель. Этот принцип достигается использованием различных установок, которые **классифицируются по методу приготовления эмульсии:**

– по требуемой энергии (низкая энергия – простые напорные трубы, средняя энергия – мешалки, высокая энергия – роторно-импульсные, акустические и высокого давления);

– непрерывности службы (периодическая, непрерывная, комплексная);

– типа силы (сила вязкого сопротивления или сдвигающая сила);

Основные типы установок по приготовлению эмульсий – это гидромеханические, немеханические и температурно-фазоинвертирующие.

Гидромеханические системы: роторно-импульсные, высокого давления, акустические и микропористые.

Роторно-импульсные системы содержат ротор и статор с соосными каналами на боковых стенках. Подаваемая жидкость под давлением проходит сначала в полость ротора, а потом в статор, после чего попадает в рабочую камеру. За счёт периодического совмещения каналов ротора и статора течение жидкости периодически прекращается, т.е. характер потока импульсный; при совмещении каналов скорость потока на входе в канал статора резко возрастает. При этом высокое напряжение при сдвиге потока между каналами приводит к образованию диспергированной эмульсии, характеристики которой зависят от скорости вращения ротора, зазора между ротором и статором, давления потока, размеров каналов и свойств жидкостей [2].

Системы высокого давления. Приготовление мелкодисперсной эмульсии зависит от давления (до 100 МПа). В этом случае смешиваемые жидкости вводятся в смесительную зону под высоким давлением. Вследствие тангенциального течения и возникновения кавитации образуется эмульсия с каплями размером 5...50 мкм. При этом средний диаметр капель зависит от приложенного давления. Характер дисперсности управляется регулированием зазора между конической поверхностью конусообразного рабочего органа и внутренней поверхностью диффузорной части кавитатора с помощью направляющего стержня [3, 4].

Акустические системы. При разработке таких аппаратов применяют перфорированный диск. Конусные отверстия в диске позволяют преобразовывать колебательное движение жидкости в аксиально-направленный поток, который необходим для равномерного распределения перемешиваемых компонентов в объёме жидкости [1].

Кавитационные смесители обладают следующими достоинствами: увеличивается степень диспергирования (однородность) смешиваемых фракций и ускоряется процесс гомогенизации, повышается коэффициент внутренней диффузии. Приготовленная с помощью интенсивных колебаний звукового и ультразвукового диапазонов частот эмульсия характеризуется равномерностью по гранулометрическому составу, наибольшими дисперсностью, весовой концентрацией и устойчивостью. При этом повышение гидростатического давления в герметичной ёмкости позволяет регулировать частотные характеристики излучателей.



Приготовление эмульсии в режиме избыточного статического давления в интенсивном многочастотном акустическом поле двух прямоочных гидродинамических излучателей с пульсирующей кавитационной областью обеспечивает получение более высокодисперсных однородных и стойких к расслоению водомасляных эмульсий, чем при использовании гидродинамических и магнитоэлектрических преобразователей, а также механического перемешивания. Однако высокая производительность ультразвукового эмульгирования с помощью магнитоэлектрических и пьезоэлектрических преобразователей (в диапазоне от десятка до сотни литров в час) требует больших энергетических затрат (значительно выше, чем при использовании других средств систем) [5].

Системы микропор основаны на реализации течения несмешивающихся компонентов смеси через перфорированные пластины или мембраны, и микроканалы. Приготовленные по этой методике эмульсии имеют высокую степень монодисперсности с малым размером капель. При применении микроканалов дисперсная фаза движется под давлением через тонкий переход или отверстия мембраны (размером в несколько микрометров); образуемые капли за мембраной сносятся течением дисперсной среды. При использовании перфорированных пластин или мембран крупнодисперсная эмульсия подается под давлением через зазоры или отверстия, обеспечивая получение высококачественной эмульсии. Преимущества применения этой методики:

1) напряжение сдвига ниже, чем при использовании других методик эмульгирования, поскольку мелкие капли дисперсной фазы образуются непосредственно на выходе микропор вместо разрушения крупных капель в высокоэнергетических зонах;

2) процесс эмульгирования требует более низкой энергии ($10^4 \dots 10^6$ Дж/м³) по сравнению с другими методами ($10^6 \dots 10^8$ Дж/м³) [6, 7].

Однако основным недостатком этой методики является низкая интенсивность потока дисперсной фазы. В этом случае размер и процесс отделения капель зависят:

– от мембранных свойств (материал микропор является несмачиваемой поверхностью); диаметр цилиндрических микропор варьирует в пределах от 0,5 до 30 мкм с высокой пористостью (расстояние между соседними порами не более 50 % диаметра пора) для предотвращения коагуляции образованных капель;

– скорости поперечного потока (или напряжения сдвига) и трансмембранного

давления; размер капель снижается с увеличения напряжения сдвига, и это воздействие значительно больше для малого напряжения сдвига и небольшого диаметра отверстия; трансмембранное давление заставляет проникать дисперсную фазу через мембрану в дисперсную среду, увеличение трансмембранного давления приводит к увеличению потока дисперсной фазы через мембраны в соответствии с законом Дарси, а также к увеличению размера капель и распределению их по размерам;

– фазовых свойств эмульгатора и вязкости дисперсной фазы.

Важным свойством воды является ее меньшая (в 3...6 раз) относительно ДТ вязкость. Однако вязкость эмульсии всегда выше вязкости отдельных компонентов и повышается с увеличением объемной доли дисперсной фазы (Φ) из-за значительного влияния гидродинамического взаимодействия между каплями, приводя к изменению структуры течения. С ростом показателя Φ вязкость сначала увеличивается, достигая максимального значения при $\Phi_m \approx 0,637$, а затем уменьшается. При значении $\Phi > 0,7 \dots 0,8$ происходит обращение эмульсии из прямой, в которой капли воды (дисперсная фаза) окружены топливом (дисперсная среда), она становится обратной (где дисперсная фаза и среда меняются местами); в этом состоянии вязкость мало зависит от величины Φ . Момент обращения эмульсии также зависит от скорости добавления дисперсной фазы и/или интенсивности перемешивания. На вязкость эмульсии влияет не только размер капель (d_k) дисперсной фазы (или т.н. глобул), но и распределение их по размерам: при d_k менее 2 мкм вязкость повышается со снижением d_k , но если d_k более 5 мкм, то влияние незначительно. Однако размер капель имеет непосредственное влияние на величину Φ_m : увеличение доли крупных частиц (D_k) приводит к повышению величины Φ_m . Таким образом, вязкость повышается со снижением размера глобул, имея минимальное значение при определенном значении d_k/D_k [8].

Немеханические методы основаны на выпадении дисперсной фазы, ранее растворенной во внешней фазе (используются для приготовления специальной эмульсии в химической промышленности).

Температурно-фазоинвертирующие методы (ТФИ). Эмульсия образуется при критической температуре (называется фазоинвертированная температура – ФИТ), при которой достигается минимальная величина межфазного напряжения (или максимальной теплопроводности). Если эмульсия приготовлена при температуре несколько



меньше ФИТ, то необходимо обеспечить ее быстрое охлаждение, что обусловит образование эмульсии с наименьшим размером капель. Таким образом, размер эмульгированных капель зависит от температуры и ГЛН. Этот метод применяется для образования нано-эмульсий без использования механического оборудования высокой энергии [9].

Выводы

1. Сложность применения воды в смеси с легким топливом, к которым относится дизельное топливо, заключается в том, что это, во-первых, две несмешивающиеся жидкости, а во-вторых, в легких топливах, в отличие от тяжелых топлив (котельного и мазутов), отсутствуют естественные эмульгаторы.

2. Эффективность сжигания водо-топливных эмульсий определяется морфологией эмульсии, зависящей от соотношения дисперсной фазы и дисперсной среды, распределения глобул по размерам, а также характера приготовления эмульсии.

3. Основным принципом производства водо-топливных эмульсий является обеспечение высокого напряжения сдвига в дисперсной среде для деформации и разрушения крупных капель, что может быть реализовано в установках, основанных на различных принципах функционирования.

4. Анализ различных методов приготовления водо-топливных эмульсий на основе легких топлив показал наибольшую перспективность системы микропор с точки зрения управления качеством приготавливаемой эмульсии.

Работа выполнена при поддержке Гранта РФФИ 11-08-01168-а «Теоретические и экспериментальные исследования по оптимизации эмульсионного состава топливных смесей для повышения экономи-

ческих показателей сельскохозяйственных самоходных машин, отвечающих перспективным международным экологическим требованиям».

Список литературы

1. Schubert H., Engel R. Product and formulation engineering of emulsions // Institution of Chemical Engineers Trans IChemE, Part A, Chemical Engineering Research and Design, 82(A9). – September 2004 – P. 1137–1143.
2. Промтов М.А., Зимин А.И., Монастырский М.В. Модель течения жидкости через прерыватель одноступенчатого роторно-импульсного аппарата // Пром. теплотехника. – 2001. – Т.23, № 1–2. – С. 129–133.
3. Leal-Calderon F., Schmitt V., Bibette J. Emulsion science: Basic principles // 2nd edition, Springer Science+Business Media, LLC. – New York, 2007. – P. 5–51.
4. Бауман Е.В., Коц И.В. Система автоматизированного управления эмульсионной установкой на основе математической модели её рабочего процесса // Наукові праці ВНТУ. – 2008. – № 4.
5. Сухарьков О.В. Исследование процесса эмульгирования в многочастотном акустическом поле // Акустичний вісник. – 2009. – Том 12, №4. – С. 57–64.
6. Charcosset C., Limayem I., Fessi H. The membrane emulsification process – a review // Society of chemical industry, Journal of Chemical Technology and Biotechnology. – 2004. – Vol. 79. – P. 209–218.
7. Antonov V.N. Features of preparation of water-fuel emulsions for diesel engines // Chemistry and Technology of Fuels and Oils. – 1983. – Vol. 19, Number 12. – P. 606–609.
8. Sherman P. The Viscosity of Emulsions // Rheologica Acta. – 1962. – Band 2, Heft 1.
9. Tadros T. F. Emulsion science and technology // Wiley-VCH Verlag GmbH&Co. KGaA., UK. – 2009. – С. 27–28.

Рецензенты:

Гаврилов А.А., д.т.н., профессор, профессор кафедры тепловых двигателей и энергетических установок Владимирского государственного университета Министерства образования и науки, г. Владимир;

Гоц А.Н., д.т.н., профессор, профессор кафедры тепловых двигателей и энергетических установок Владимирского государственного университета Министерства образования и науки, г. Владимир.

Работа поступила в редакцию 24.06.2011.