

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АППАРАТА ВИХРЕВОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ С ФЕРРОМАГНИТНЫМИ ЧАСТИЦАМИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ БИОДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА

К. С. Малахов, Е. А. Печагин, М. Г. Егоров

*Филиал ОАО «МРСК-Центра» – «Тамбовэнерго»;
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный
технический университет», г. Тамбов*

Рецензент д-р хим. наук, профессор А. Б. Килимник

Ключевые слова: вихревое электромагнитное поле; массообменные процессы; метанолиз растительных масел; микроэлектролизер; получение биодизельного топлива; ферромагнитные частицы; энерго- и ресурсосберегающие технологии.

Аннотация: Проведенные эксперименты выявили новые, ранее неизвестные эффекты, возникающие при помещении стальных цилиндрических ферромагнитных частиц во вращающееся электромагнитное поле. В результате магнитострикционных импульсов, кавитации, индукционных токов, микродуг, быстрого перемещения ферромагнитных частиц и других факторов на несколько порядков увеличивается поверхность взаимодействия (поверхность раздела фаз) и растет поверхностная энергия, обуславливающая резкое ускорение (интенсификацию) процесса метанолиза растительных масел.

Актуально стоит вопрос применения биодизельного топлива, показывающего лучшие смазывающие свойства нефтяного дизельного топлива с низким содержанием серы. В результате предотвращается выход из строя дорогостоящей топливной аппаратуры автотракторной техники [1]. Недостатки многореакторной непрерывной технологии обусловили дальнейший поиск энерго- и ресурсосберегающих технологий получения биодизельного топлива. Экспериментально установлено, что для интенсификации процесса получения биодизельного топлива только кавитационного и термического воздействий на растительные масла и метанол недостаточно.

Малахов Константин Сергеевич – кандидат технических наук, электромонтер ОВБ ГОО-ПС-ОТС филиала ОАО «МРСК-Центра»–«Тамбовэнерго»; Печагин Евгений Александрович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Электроэнергетика», e-mail: pechagin_ea@mail.ru; Егоров Максим Геннадьевич – магистрант, ТамбГТУ, г. Тамбов.

Для создания высокоинтенсивного процесса метанолиза предлагается в качестве биореактора использовать аппараты с вращающимся электромагнитным полем, удельная энергетическая насыщенность рабочей зоны которых в несколько раз превышает аналогичные показатели всех известных аппаратов.

Влияние коэффициента заполнения аппарата ферромагнитными частицами k_3 на выход биодизельного топлива показан в табл. 1

$$k_3 = V_{\text{ч}}/V_{\text{а}},$$

где $V_{\text{ч}}$ – суммарный объем всех частиц, м^3 ; $V_{\text{а}}$ – объем рабочей зоны аппарата, м^3 .

Анализ полученных результатов показывает, что без перемешивания (при коэффициенте $k_3 \approx 0$) за счет воздействия на исходные реагенты вращающегося электромагнитного поля происходит интенсификация реакции метанолиза (в 1,25 – 1,3 раза по сравнению с реакцией, протекающей при тех же условиях, но без воздействия электромагнитного поля).

Решающее влияние на ход процесса метанолиза оказывают действие, движение и энергия ферромагнитных частиц. В свою очередь эти параметры обусловлены формой частиц, их диаметром, отношением длины к диаметру, коэффициентом заполнения аппарата ферромагнитными частицами и целым рядом других факторов.

Вопрос о количестве ферромагнитных частиц, заполняющих рабочее пространство аппарата с вращающимся электромагнитным слоем, непосредственно связан с эффективностью их воздействия на реакционную смесь. В соответствии с теорией таких аппаратов имеет место вращение всего слоя в целом. Причем движение частиц во вращающемся электромагнитном поле возможно только до определенной степени заполнения ими рабочей зоны аппарата, когда все частицы одновременно прекращают движение. Крупные цилиндрические частицы вращаются относительно оси аппарата, но движутся отдельно друг от друга.

Таблица 1

Влияние коэффициента заполнения аппарата ферромагнитными частицами на выход биодизельного топлива

Параметры	Коэффициент заполнения, k_3			
	0,001	0,01	0,1	0,35
Объем, мл:				
полученного эфира		260	258	247
глицериновой фазы		46	46	63
общий		306	304	310
очищенного эфира		230	241	233
Ориентировочный выход, %		89,2	98,5	93,2
Вязкость при 20 °С, $\text{мм}^2/\text{с}$	21,65	6,75	5,45	6,63

Другими словами, первоначально считалось, что действие ферромагнитных частиц можно приравнять к обычному механическому перемешиванию и перемалыванию. Если частиц мало, то все они должны совершать преимущественно круговые движения; если много – сталкиваются между собой и со стенками аппарата, в результате чего происходят повороты частиц на какие-то углы или изменения направления их движения.

Проведенные эксперименты выявили новые, ранее неизвестные эффекты, возникающие при помещении стальных цилиндрических ферромагнитных частиц во вращающееся электромагнитное поле [2]. Под действием сил и моментов ферромагнитные частицы в аппарате совершают сложное движение – поступательное с частым и резким изменением скорости и направления и вращательное с переменной угловой скоростью. При этом каждая частица движется отдельно от других. Эксперименты показали, что движение ферромагнитных частиц начинается при достижении индукции в рабочей камере более $0,09T$.

На рисунке 1 показан типичный характер движения частиц после включения электромагнитного поля порядка $(0,12...0,15)T$. Четко просматриваются две характерные тенденции движения частиц. Во-первых, весь слой частиц (за счет центробежных сил) движется на некотором расстоянии от оси индуктора (см. рис. 1, б) в сторону вращения электромагнитного поля (индуктор расположен вертикально). Во-вторых, большинство частиц при своем движении по окружности совершают одновременно сложные колебательные движения с большой амплитудой (примерно равной половине длины частицы) относительно своей середины. По-видимому, вокруг каждой частицы возникают локальные электромагнитные поля, которые в сумме определяют структуру магнитного поля в рабочем объеме индуктора, имеющую импульсный характер.

Совершая сложные механические и магнитострикционные колебания (из-за отставания в своем движении от вращения электромагнитного поля и вследствие магнитоупругого эффекта при ударах, а также колебаний, показанных на рис. 2), каждая частица является источником кавитации. Обработываемые жидкости (смесь из растительного масла и раствора катализатора в метаноле) имеют очень малый коэффициент сжимаемости, поэтому большие изменения давления сопровождаются малыми изменениями их удельного объема [3]. Строго выполняются в широком диапазо-



Рис. 1. Характер движения частиц под действием вращающегося электромагнитного поля:

а – движение частиц отсутствует;
б – движение частиц после включения поля (через 60 с)

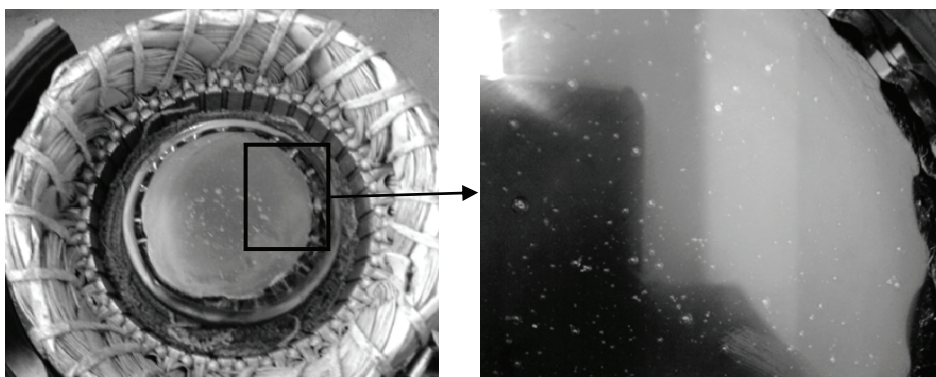


Рис. 2. Внешний вид камеры индуктора после удаления из нее воздуха и крупный план фрагмента

не изменения положительного давления уравнение типа $\nabla \bar{u} = 0$, где \bar{u} – вектор скорости в определенный момент времени и определенной точке рабочего объема индуктора. При колебательных движениях ферромагнитных частиц в обрабатываемой жидкости возникают отрицательные давления. Капельная жидкость не может выдержать растяжения и стремится к образованию областей, заполненных паром, которые расширяются и снижают отрицательное давление. Тем самым непрерывность жидкости нарушается и для описания движения требуется определить положение и движение границ каверн.

Тенденция к образованию каверн в жидкости, находящейся в состоянии покоя, показывает, что давление снижается до нуля при наличии ядер кавитации (микроскопические включения нерастворимого воздуха с некоторым количеством паров обрабатываемых жидкостей). Трудно сказать, каким образом включения воздуха могут долгое время сохраняться в жидкости при нормальных условиях. Проведенные нами исследования показали, что все попытки убрать воздух из обрабатываемой жидкости полностью не увенчались успехом. После подогрева и вибраций предположим, что воздуха в индукторе больше нет, однако уже через несколько секунд работы индуктора отчетливо видны пузырьки воздуха в центре аппарата, движущиеся вверх (рис. 2).

Давление, возникающее на границе малого сферического пузырька из-за поверхностного натяжения, настолько велико, что оно не может быть полностью уравновешено давлением пара, а воздух, подвергаемый этому давлению, должен быстро раствориться в жидкости.

Для оценки характера изменения звукового давления в рабочей камере аппарата использовался гидрофон из титаната бария

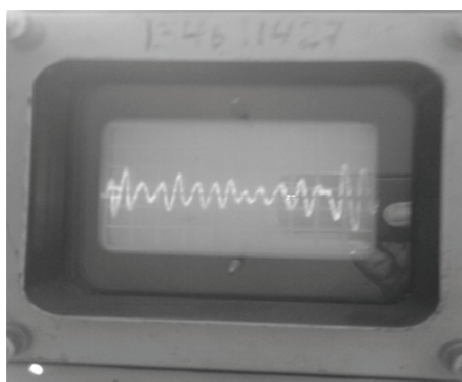


Рис. 3. Изменение давления в камере аппарата

(BaTiO₃). Данный датчик подключен к запоминающему осциллографу С8-12 и анализатору гармоник С5-3. Для фотографирования применялся цифровой фотоаппарат с графическим разрешением матрицы 5 Мпикс. Типичные осциллограммы изменения давления в аппарате показаны на рис. 3.

Под воздействием интенсивного движения частиц пузырьки газа почти мгновенно диспергируются и заполняются насыщенным паром обрабатываемой жидкости, то есть создаются условия для возникновения акустической (газовой) кавитации. Движение частиц создает интенсивное движение жидкости, что в свою очередь создает условия для формирования разрывов жидкости (струйной кавитации).

Таким образом, технологическая эффективность аппаратов с вращающимся электромагнитным полем складывается из целого ряда факторов, одновременно оказывающих воздействие на обрабатываемую жидкость:

- вращающееся электромагнитное поле намагничивает ферромагнитные частицы, которые взаимодействуют друг с другом, с обрабатываемой жидкостью и стенками камеры аппарата;

- в рабочей камере индуктора возникают акустические волны, кавитация, которые приводят к интенсификации массообменных процессов;

- движение в рабочей камере индуктора большой массы ферромагнитных частиц сопровождается интенсивным столкновением с выделением энергии, формирующей заряды на ферромагнитных частицах;

- каждая частица представляет собой своеобразный микроэлектролизер, непрерывная работа которого насыщает рабочую камеру индуктора ионами различной полярности, что способствует ускорению реакций;

- при перемагничивании частиц возникает явление магнитострикции. Число перемагничиваний, по-видимому, во много раз превышает число соударений частиц. Изменение линейных размеров проходит с очень высокими скоростями, сопоставимыми со скоростью света. В результате формируется силовой импульс, действующий на большом расстоянии. Вероятно каждая частица при своем движении непрерывно излучает силовые импульсы большой силы, способствующие резкой интенсификации химико-диффузионных процессов;

- в какие-то моменты частицы случайно соприкасаются между собой с образованием замкнутой электрической цепи, в которой под воздействием вращающегося электромагнитного поля индуцируются сильные токи, инициирующие микродуги. Выделяющееся при этом тепло способствует дополнительной активации процессов и прямому переносу вещества (диффузии);

- в результате магнитострикционных импульсов, кавитации, индукционных токов, микродуг, быстрого перемещения ферромагнитных частиц и других факторов на несколько порядков увеличивается поверхность взаимодействия (поверхность раздела фаз) и растет поверхностная энергия, обуславливающая резкое ускорение (интенсификацию) процесса метанолиза растительных масел.

Вышеперечисленные факторы, формирующие интегральный технологический эффект, обуславливают наличие в представленных аппаратах еще не известных явлений, которые способствуют резкой интенсификации химико-диффузионных процессов и повышению их эффективности.

Список литературы

1. Результаты испытаний и перспективы эксплуатации дизелей на биотопливе / В. Ф. Федоренко, [и др.]. – М. : ФГНУ «Росинформагротех», 2008. – 136 с.
2. Малахов, К. С. Использование аппаратов с вихревым слоем для получения биодизельного топлива // Повышение эффективности использования ресурсов при производстве сельскохозяйственной продукции – новые технологии и техника нового поколения для растениеводства и животноводства : сб. науч. докл. XV Междунар. науч.-практич. конф. / Россельхозакадемия, ГНУ ВИИТиН. – Тамбов : Изд-во Першина Р. В., 2009. – С. 468 – 472.
3. Червяков, В. М. Гидродинамические и кавитационные явления в роторных аппаратах / В. М. Червяков, В. Ф. Юдаев. – М. : Машиностроение-1, 2007. – 128 с.

References

1. Fedorenko V.F., Liksutina A.P., Buklugin D.S., Nagornov S.A., Zazulya A.N., Golubev I.G. *Rezultaty ispytaniy i perspektivy ekspluatatsii dizelei na biotoplive* [The test results and the prospects for diesel engines operating on biofuel], Moscow: FGNU "Rosinformagrotekh", 2008, 136 p. (In Russ.)
2. Malakhov K.S. [Using a fluidized bed apparatus for producing biodiesel], *Collection of Scientific Papers 15th International Scientific and Practical Conference RAAS, GNU VIITiN*, Tambov: Izd-vo Pershina R.V., 2009, pp. 468-472. (In Russ.)
3. Chervyakov V.M., Yudaev V.F. *Gidrodinamicheskie i kavitatsionnye yavleniya v rotornykh apparatakh* [Hydrodynamic cavitation phenomena and in rotary machines], Moscow: Mashinostroenie-1, 2007, 128 p. (In Russ.)

Using Vortex Electromagnetic Field with Ferromagnetic Particles for Biodiesel Manufacturing

K. S. Malakhov, E. A. Pechagin, M. G. Egorov

*Branch OAO "MRSK-Center" – "Tambovenergo";
Tambov State Technical University, Tambov*

Keywords: biodiesel production; energy- and resource-saving technologies; ferromagnetic particles; mass transfer processes; methanolysis of plant oils; micro electrolyzer; vortex electromagnetic field.

Abstract: The experiments demonstrated new previously unknown effects, arising from placing steel cylindrical ferromagnetic particles in the rotating electromagnetic field. Magnetostriction pulses, cavitation, induction currents, microarcs, fast moving ferromagnetic particles and other factors increase the surface interaction by several orders (phase contact area); the surface energy increases, causing a sharp acceleration (intensification) of the methanolysis process of vegetable oils.

© К. С. Малахов, Е. А. Печагин, М. Г. Егоров, 2016