

УДК 661.74

EDN [MOHWFO](#)



Организация проведения практического занятия для студентов «Производство биодизеля из кофейной гущи»

Д.А. Фаттахов¹, Э.В. Гарифуллина¹, В.В. Меньшиков^{2*}

¹ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», ул. К. Маркса, 68, г. Казань, 420015, Россия

²ФГБОУ ВО «Южно-Уральский государственный гуманитарно-педагогический университет» пр. Ленина, 69, г. Челябинск, 454080, Россия

*E-mail: 91233250551@mail.ru, menshikoff@mail.ru

Аннотация. В данной статье рассматривается проведение практического занятия для студентов факультетов химической технологии на основе по решению практических задач экологического инжиниринга на примере получения биодизеля из кофейной гущи таких сортов кофе, как Робуста и Арабика. Результатом данной работы студенты получили более четкое представление о химической инженерии и о важности использования фундаментальных принципов для создания эффективных промышленных процессов.

Ключевые слова: биодизель, кофе, лабораторная работа, масло, образование.

Organisation of practical training for students based on biodiesel production from coffee grounds

D.A. Fattakhov¹, E.V. Garifullina¹, V.V. Menshikov^{2*}

¹Kazan National Research Technological University, 68 Karl Marx Street, Kazan, 420015, Russia

²South Ural State Humanitarian Pedagogical University, 69 Lenin Ave., Chelyabinsk, 454080, Russia

*E-mail: 91233250551@mail.ru, menshikoff@mail.ru

Abstract. This article discusses conducting a practical lesson for students of chemical technology faculties based on solving practical problems of environmental engineering on the example of obtaining biodiesel from coffee grounds of such coffee varieties as Robusta and Arabica. As a result of this work, students gained a clearer understanding of chemical engineering and the importance of using fundamental principles to create efficient industrial processes.

Keywords: biodiesel, coffee, laboratory work, oil, education.

1. Введение

В настоящее время биодизель в основном производится из растительных масел, таких как соевое, рапсовое и пальмовое [1]. Поскольку реакция получения биодизеля достаточно проста, а сам процесс по своей сути является междисциплинарным, он представляет собой отличный инструмент для иллюстрации основных химических и инженерных концепций в лаборатории [2]. Например, синтез биодизельного топлива стал темой ряда отличных лабораторных работ для старших классов средней школы и студентов бакалавриата. Они включают простой органический синтез из растительных масел. Хотя эти синтезы в основном требуют университетского оборудования, общие свойства биодизельного топлива, такие как: теплотворная способность, вязкость, свободная энергия Гиббса, а также обсуждение энтальпии и энтропии применимы в школьных курсах химии и были использованы для демонстрации этих понятий [3]. Переэтерификация растительных масел обычно катализируется основаниями, такими как NaOMe, однако, когда присутствуют свободные жирные кислоты [4]. При использовании сырья более низкого качества в учебных условиях переэтерификацию лучше катализировать кислотой Бронстеда: например, серной кислотой, хотя это значительно снижает скорость реакции [5].

Для повышения коммерческой жизнеспособности биодизеля в промышленных масштабах необходимо использовать относительно недорогое сырье или отходы. Кофе является одним из наиболее широко потребляемых напитков в мире; например, в 2021 году в мире было произведено чуть менее 13 миллионов тонн кофейных зерен [6]. Существует два вида кофейных зерен, которые выращиваются для коммерческого использования: *Coffea arabica*, более известная как Арабика, составляет 75-80% мирового производства, а *Coffea canephora*, более известная как Робуста, - 20-25% [7]. Кофейная гуща содержит липиды, которые преимущественно состоят из: линолевой кислоты (44-50%), пальмитиновой кислоты (35-40%), олеиновой кислоты (7-8%) и стеариновой кислоты (7-8%) [8]. Кофейное масло может быть извлечено непосредственно из свежей кофейной гущи, хотя после заваривания почти полностью сохраняется в отработанной кофейной гуще. Количество масла, получаемого из кофе, зависит от источника и варьируется от 11 до 20 масс % в пересчете на сухой вес. Это масло может быть переэтерифицировано для получения биодизельного топлива.

2. Лабораторная работа

В ходе проведения лабораторной работы группа студентов была разделена на 7 подгрупп. Кофейное масло было извлечено из отработанной кофейной гущи двумя отдельными методами: горячей и холодной экстракцией. При необходимости проведения нескольких экстракций кофе фильтровали с помощью фильтровальной бумаги и возвращали в круглодонную колбу со свежим растворителем. Полученную кофейную гущу высушивали и взвешивали. Кофейная гуща была отделена от смеси масла и растворителя с помощью фильтровальной бумаги. После завершения фильтрации сосуд для сбора накрывали, чтобы предотвратить испарение растворителя, а влажную фильтровальную бумагу, взвешивали и оставляли сушиться; после высыхания фильтровальную бумагу снова взвешивали, чтобы определить количество растворителя, который не удалось отфильтровать. После разделения измеряли влажный вес фильтровальной корки, оставляли ее сушиться, а затем снова взвешивали, чтобы определить массу растворителя. После разделения твердой и жидкой фаз требуется стадия разделения жидкой фазы для удаления растворителя. Для этого был использован роторный испаритель для разделения. После удаления всего растворителя полученное масло и колбу взвешивали, масло оставляли, а колбу взвешивали повторно, чтобы получить конечную массу масла. Получившееся кофейное масло переэтерифицировали: масло переносили в колбу и добавляли этанол, содержащий H_2SO_4 . Реакцию проводили при комнатной температуре и при рефлюксе. Кинетику реакции определяли путем измерения показателя преломления. Это достигалось путем отбора проб через регулярные интервалы времени 2, 4 и 6 часов. Каждый образец подвергался обработке для удаления этанола, катализатора, глицерина и других нежелательных химикатов перед тем, как измерения показателя преломления. Образец брали из реакционного сосуда и добавляли к 10 мл гептана, затем эту смесь фильтровали через 50 мл разделительную воронку с фильтровальной бумагой для удаления образовавшихся твердых частиц. Затем смесь подвергали промывкам для удаления любого нежелательного материала. После каждого промывания смесь осторожно встряхивали и оставляли для разделения, нижний слой затем удаляли. После третьего промывания смесь гептан/масло собирали в пробирку и удаляли гептан. Как только весь гептан был удален, показатель преломления образца измеряли с помощью ручного рефрактометра.

Через 24 ч продукты реакции трижды промывали 20 мл рассола для удаления глицерина, этанола и кислотного катализатора. Затем образцы были измерены на коэффициент преломления для оценки чистоты.

3. Результаты

Результаты по всем группам обобщены в Таблице 1. Показатель преломления чистого биодизеля, полученного из таких сортов кофе, как Арабика и Робуста, отличается незначительно и был рассчитан до начала проведения лабораторных работ, эти значения использовались для обозначения 100% преобразования триглицерида. Индекс преломления показал, что к 6 ч все реакции преобразовали приблизительно 60% триглицерида, хотя к 24 ч была достигнута конверсия более 97,5%.

Таблица 1. Результаты баланса энергии и массы для семи групп, проводивших лабораторный эксперимент.

Параметры	Подробности эксперимента	Образец кофе и номер студенческой группы с соответствующим типом кофе						
		1, Робуста	2, Робуста	3, Робуста	4, Робуста	5, Арабика	6, Арабика	7, Арабика
Добыча масла, г	Промывка №1	2,71	3,17	3,25	3,33	3,97	3,58	3,65
	Промывка №2	-	1,42	1,32	-	1,76	1,23	1,12
	Промывка №3	-	0,37	-	-	0,65	-	0,45
	Всего	2,71	4,96	4,57	3,33	6,38	4,81	5,22
	Экстракция	0,06	0,11	0,09	0,06	0,11	0,08	0,11
	Фильтрация	0	0,01	0,01	0,01	0,01	0	0
	Выпаривание	0,11	0,12	0,10	0,13	0,09	0,11	0,12
	Перезтерификация	0,82	0,78	0,78	0,82	0,78	0,82	0,78
Всего использовано энергии, МДж		0,99	1,02	0,98	1,02	0,99	1,01	1,01
Общее количество полученной энергии, МДж		56,16	55,52	56,09	56,12	55,43	55,29	55,48
Потеря энергии, МДж		55,17	54,50	55,11	55,10	54,44	54,28	55,47
Выход биодизельного топлива:		81	95	94	97	99	99	99
Массовая доля от исходного количества масла, %								
Энергетическое содержание биодизеля, МДж		0,09	0,18	0,17	0,16	0,26	0,19	0,21

3. Выводы

В представленном лабораторном эксперименте студенты, рассматривающие химию, получили инструменты и возможность ознакомиться с более прикладной, или инженерной, формой университетского образования. По отзывам учащихся, они получили гораздо более четкое представление о том, что такое химическая инженерия и насколько важно использовать представленные фундаментальные принципы для создания эффективных промышленных процессов. Весь лабораторный эксперимент был разработан для того, чтобы рассказать старшеклассникам о химической инженерии на университетском уровне; однако некоторые аспекты представленной лабораторной работы, такие как баланс энергии и массы, можно использовать и в классе, где нет лабораторного оборудования. А сильной стороной данного лабораторного эксперимента является его прикладной характер и интеграция математики, химии, и прикладных наук.

Список литературы

1. Hoekman, S.K. Обзор состава, свойств и технических характеристик биодизельного топлива [Текст] / S.K. Hoekman, A. Broch, C. Robbins, E. Cenicerros, M. Natarajan // *Renewable Sustainable Energy Rev.* – 2012. – № 16. – С. 143-169.
2. Мусина, Ф.А. Экологически чистые химические технологии для устойчивого развития химической промышленности [Текст] / Ф.А. Мусина, В.В. Бронская, Т.В. Ингнашина, А.А. Нургалиева // *Вестник Технологического университета.* – 2019. – Т. 22. – № 8. – С. 79-83.
3. Rosa, P.D.L. Соевое масло: Энергия для исследования биодизеля в средней школе [Текст] / P.D.L. Rosa, K.A. Azurin, M.F.Z. Page // *J. Chem. Educ.* – 2014. – № 91. – С. 1689-1692.
4. Stout, R. Биодизель из отработанного масла [Текст] / R. Stout // *J. Chem. Educ.* – 2007. – № 84. – С. 1765.
5. Bucholtz, E.C. Синтез и оценка биодизеля: An Organic Chemistry Experiment [Текст] / E.C. Bucholtz // *J. Chem. Educ.* – 2007. – № 84. – С. 296.
6. Международная кофейная организация, Исторические данные общего производства кофе / [Электронный ресурс] // Международная кофейная организация: [сайт]. – URL: <http://www.ico.org/prices/po.htm> (дата обращения: 14.08.2022).

7. Кофейное растение арабика и робуста / [Электронный ресурс] // Кофейное растение арабика и робуста: [сайт]. – URL: <http://www.coffeeresearch.org/agriculture/coffeeplant.htm> (дата обращения: 14.08.2022).
8. Jenkins, R.W. Влияние типа зерен, обработки и географического положения на биодизель, полученный из отходов кофейной гущи [Текст] / R.W. Jenkins, N.E. Stageman, C.M. Fortune, C.J. Chuck // Energy Fuels. – 2014. – № 28. – С. 1166-1174.