

О.Ю. Исмаилов, проф., д-р техн. наук (DSc),  
(ИОНХ АНРУз, г. Ташкент, Узбекистан);

Д.Н. Исаматова, д-р философии технических наук (PhD)  
(Филиал РГУ нефти и газа (НИУ), г. Ташкент, Узбекистан)

## **ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ПОЛУЧЕНИЮ БИОДИЗЕЛЯ: ЭТЕРИФИКАЦИЯ ЖИРНЫХ КИСЛОТ, ПЕРЕЭТЕРИФИКАЦИЯ МАСЕЛ И ГИДРОПЕРЕРАБОТКА ЛИПИДОВ**

В условиях истощения запасов нефти и ограниченной глубины её переработки (около 85 %) в ряде европейских стран [1] возрастает потребность в разработке технологически и экологически обоснованных альтернативных моторных топлив. Особое место среди них занимает биодизельное топливо, что обусловлено высокой долей дизельной техники в транспортном секторе. Существенным недостатком традиционного дизельного топлива являются превышающие нормативы выбросы загрязняющих веществ, образующихся при его сгорании, в связи с чем разработка новых типов и составов биодизельного топлива рассматривается как приоритетное направление исследований.

По данным мирового баланса жидких биотоплив, около 74 % приходится на биоэтанол, 22 % – на биодизель и порядка 4 % – на «зелёный дизель». Наибольшие объёмы потребления сосредоточены в США (46 %) и Бразилии (24 %), тогда как доля Европы и других регионов составляет около 15 %.

Несмотря на меньшую распространённость дизельного транспорта в России по сравнению с Европой, интерес к биодизельному топливу в последние годы возрастает. Это обусловлено его возобновляемым характером [1], улучшенными экологическими показателями (снижением выбросов дисперсных частиц и летучих органических соединений при сгорании), а также высокими эксплуатационными свойствами – повышенной смазывающей способностью и высоким цетановым числом.

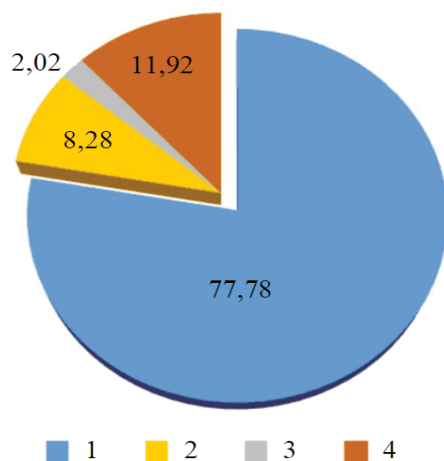
Сырьё для производства биодизеля существенно варьирует по регионам: в Европе преимущественно используется рапсовое масло, в США – соевое и кукурузное, в Канаде – канола; в ряде стран применяется также пальмовое масло. Инвестиционная активность в данной сфере демонстрирует устойчивый рост, что подтверждается, в частности, программами Emissions Reduction Alberta по развитию биодизельного производства в провинции Альберта (Канада).

Ключевым этапом технологической схемы получения биодизельного топлива является контроль качества, поскольку эксплуатаци-

онная пригодность определяется совокупностью физико-химических показателей [1]. Перспективными считаются методики, регламентированные стандартами EN 14105 и ASTM D6584, обеспечивающие расширенную оценку компонентного состава. При несоответствии нормативам продукт подвергается доработке с повторным испытанием. Согласно стандарту EN 14214 нормируются содержание эфиров, плотность, кинематическая вязкость, температура вспышки, содержание серы и цетановое число, которые определяют возможность применения топлива в двигателях внутреннего сгорания.

Методология. Основными методами получения биодизельного топлива являются: переэтерификация растительных масел и животных жиров; этерификация жирных кислот; гидрирование и гидропереработка растительных масел [2]. Процесс этерификации жирных кислот основан на взаимодействии органических кислот со спиртами в присутствии катализатора и протекает по механизму нуклеофильного замещения.

В настоящем исследовании исходным сырьём служили жирные кислоты (C15–C17), выделенные из подсолнечного масла. В качестве спиртового компонента применяли этиленгликоль, катализ – кислотный. После завершения реакции целевой продукт отделяли от тяжёлой фазы методами отстаивания, центрифугирования и перегонки (Рис. 1).



**Рисунок 1 – Групповой состав биодизельного топлива, полученного по методу этерификации жирных кислот подсолнечного масла с этиленгликолем**

**1 – эфиры; 2 – кислоты; 3 – толуол; 4 – прочие, %**

Качественный и количественный состав эфирной части анализировали методом хромато-масс-спектрометрии (Agilent 5973, колонка DB-Petro, 100 м), содержание эфиров составило 77,78 мас. % [1]. Полученные данные свидетельствуют о предпочтительности полувы-

сыхающих масел как сырья вследствие высокой доли линолевой, олеиновой и элаидиновой кислот.

Второй распространённый метод – переэтерификация растительных масел, представляющая собой взаимодействие триглицеридов со спиртом с образованием эфиров и глицерина. В экспериментах использовали *n*-бутанол, рыжиковое, льняное и кукурузное масла; катализатором служила концентрированная серная кислота. Варьировали соотношение масло: спирт, температуру, скорость перемешивания и продолжительность реакции. После завершения процесса продукты отстаивали, нейтрализовали остатки кислоты, промывали и обезвоживали органическую фазу. Анализ показал, что наиболее сбалансированные свойства характерны для топлива, полученного из рыжикового масла (*n*-БЭРМ), которое отличается минимальным содержанием серы (5,5 ppm), высокой температурой вспышки (150 °С) и цетановым числом (56 ед.).

Третий подход основан на гидрокрекинге липидов на сульфидных или благороднометалльных катализаторах с образованием углеводородов дизельного диапазона. «Зелёный дизель» характеризуется полной совместимостью с нефтяным дизельным топливом, высокой стабильностью при хранении и отсутствием кислородсодержащих соединений [1]. Процесс включает гидрирование, деоксигенацию, изомеризацию и крекинг. Анализ образцов, полученных из подсолнечного масла на катализаторе NiMo/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, показал высокие значения цетанового числа (79–80 ед.), однако выявил необходимость улучшения смазывающих и низкотемпературных свойств для соответствия требованиям EN 590:2009 и ГОСТ Р 52368-2005.

Обсуждение результатов. Сравнение характеристик биодизельных топлив, полученных различными методами, показывает, что наиболее сбалансированные свойства достигаются при переэтерификации растительных масел, прежде всего рыжикового. Образцы, полученные гидрокрекингом, требуют дополнительной доводки, а продукты этерификации жирных кислот уступают переэтерифицированным топливам по совокупности показателей. Оптимальными условиями переэтерификации являются температура около 195 °С, продолжительность реакции порядка 240 мин и массовое соотношение масло: спирт 2:1.

Использование биодизельных компонентов целесообразно в составе смесевых дизельных топлив с гидроочищенным малосернистым дизельным топливом, что позволяет улучшить смазывающие свойства и обеспечить соответствие нормативным требованиям. Применение

переэтерификации и этерификации способствует снижению содержания серы и токсичности выхлопных газов [3].

Закключение. Рассмотренные технологические подходы расширяют ресурсную базу моторных топлив и создают условия для повышения качества товарных дизельных топлив. Рациональным способом доведения свойств полученных образцов до нормативов является их компаундирование с гидроочищенным дизельным топливом в доле не менее 50 мас. %. Использование пищевого сырья для производства биодизеля не может считаться устойчивым в долгосрочной перспективе; более предпочтительным является применение непищевых масел, в частности рыжикового, как экологически и социально нейтрального ресурса.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Кондрашева Н.К., Еремеева А.М. Получение биодизельного топлива из растительного сырья // Записки Горного института. 2023. Т.260. С.248-256. DOI:10.31897/PMI.2022.15

2. Juraev T.E., Ismailov O.Y., Khurmamatov A.M., Auesbaev A.U., Isamatova D.N., Muminov J.A. Comparative analysis of used engine oil recycling technologies. Processes of Petrochemistry and Oil Refining. 2025, Vol. 26(1), p. 31-40. DOI:10.62972/1726 4685.2025.1.31

3. T.E. Juraev, O.Y. Ismailov, Y.Y. Yakubov, A.U. Auesbaev, D.P. Radjiboev, M.J. Boltaboeva. Investigation of the physicochemical properties of recovered oil by determining the optimal amounts of acids and adsorbents in the used oil recycling process. CHEMICAL PROBLEMS 2025 no. 4 (23), ISSN 2221-8688, стр. 483-492 <https://chemprob.org/wp-content/uploads/2025/05/483-492.pdf>