

в виде отходов фанерного производства с повышенной влажностью. Расхода хлорида в количестве 0,5 % к а. с. в. оказалось достаточным для получения твердого биотоплива требуемого стандартами различного уровня качества.

Таким образом, для получения твердого биотоплива на основе отходов фанерного производства (шпон-рванина и кора), обладающих повышенной влажностью целесообразно использовать фракцию 0,00/0,5 мм при осуществлении интенсификации процесса сушки техническим хлоридом натрия, который рекомендовано вводить в порошкообразном виде в количестве 0,5 % к а. с. в.

Список литературы

1. Божелко И. К., Дубоделова Е. В., Янушкевич А. А. Технология деревообработки. Минск : БГТУ, 2019. 199 с.

УДК 631

А. Н. Иванкин,

д. х. н., профессор кафедры ЛТ-9 Химия и химические технологии в лесном комплексе, ФГБОУ ВО МГТУ им. Н. Э. Баумана (Мытищинский филиал), г. Мытищи, РФ,
aivankin@mgul.ac.ru

А. Н. Зарубина,

к. т. н., зав. кафедрой ЛТ-9, ФГБОУ ВО МГТУ им. Н. Э. Баумана (Мытищинский филиал), г. Мытищи, РФ,
zarubina@mgul.ac.ru

А. С. Кулезнев,

бакалавр кафедры ЛТ-9, ФГБОУ ВО МГТУ им. Н. Э. Баумана (Мытищинский филиал), г. Мытищи, РФ,
kuleznev00@mail.ru

ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЛИПИДОВ ДРЕВЕСНОЙ БИОМАССЫ КАК ЭФФЕКТИВНЫЙ ПУТЬ РАБОТЫ В ОБЛАСТИ ЗЕЛеноЙ ХИМИИ

Представлены результаты исследования процесса получения жидких видов моторного топлива для технических и транспортных устройств на основе липидов растительного происхождения. Показана возможность биотехнической трансформации жиров и масел в алкиловые эфиры жирных кислот, которые самостоятельно или в виде добавок в топливные системы обеспечивают эффективную работу транспортных устройств, предопределяя экологическую безопасность работы механизмов за счет относительно безопасного сгорания топлива без выделения в окружающую среду вредных газообразных примесей.

Ключевые слова: биотопливо, переработка природных липидов.

A. N. Ivankin,

Doctor of Chemistry, Professor of the LT-9 Department Chemistry and Chemical Technologies in the Forestry Complex, Bauman Moscow State Technical University (National Research University), Mytishchi, Russian Federation,
aivankin@mgul.ac.ru

A. N. Zarubina,

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head. Department LT-9, Bauman Moscow State Technical University (National Research University), Mytishchi, Russian Federation,
zarubina@mgul.ac.ru

A. S. Kuleznev,

bachelor of the department LT-9, Bauman Moscow State Technical University (National Research University), Mytishchi, Russian Federation,
kuleznev00@mail.ru

ENERGY USE OF WOOD BIOMASS LIPIDS AS AN EFFECTIVE WAY OF WORK IN THE FIELD OF GREEN CHEMISTRY

The results of the study of the process of obtaining liquid types of motor fuel for technical and transport devices based on lipids of plant origin are presented. The possibility of biotechnical transformation of fats and oils into alkyl esters of fatty acids, which alone or in the form of additives in fuel systems, ensure the efficient operation of transport devices, predetermining the ecological safety of the operation of mechanisms due to the relatively safe combustion of fuel without the release of harmful gaseous impurities into the environment is shown.

Keywords: biofuel, natural lipid processing.

Биомасса растительного мира составляет основу значительной части окружающей природы и дает человеку массу полезных веществ и материалов. Главная особенность растительной биомассы – ее возобновляемость, что позволяет рассматривать растения как неограниченный источник полезных для человека веществ [1, 2].

Растения, как и все живые объекты, содержат в своей структуре белки, липиды, углеводы и ДНК. Технологии живых систем позволяют сегодня перерабатывать эти ресурсы на технические цели.

Природные липиды в виде жиров и масел используются человеком в значительной мере в пищу, однако сегодняшняя тенденция поиска альтернативных минеральным источникам видов сырья, приводит к пониманию ситуации, что применение растительных масел для получения жидких видов моторного топлива может иметь перспективу для стран с полным отсутствием необходимых нефтяных ресурсов. Кроме того, часть растительных липидов, например от хвойных пород, на пищевые цели не используется и может быть переработана в продукты технического назначения [2].

Все растительные липиды представляют собой триглицериды, этерифицированные остатками *cis*-жирных кислот. Химическая структура таких соединений может быть трансформирована в органические эфиры, которые обладают приемлемой способностью к контролируемому сгоранию, что позволяет использовать такую смесь алкиловых эфиров жирных кислот в двигателях внутреннего сгорания.

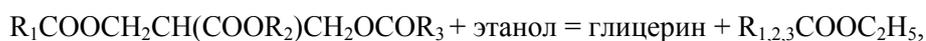
Цель настоящей работы – уточнить методологию химического превращения природных липидов растительного происхождения в перспективные компоненты топливных систем.

В качестве объектов исследования использовали технические виды растительных масел – пальмового, рапсового и таллового, степень очистки которых не допускает их использование на пищевые цели.

Этерификацию липидного сырья осуществляли этанолом в присутствии кислотных катализаторов. Технические параметры продуктов анализировали в соответствии с нормативной документацией на жидкое топливо.

Основное содержание жирных кислот в использованном сырье определяли с помощью газовой хроматографии и оно составляло (%): C14:0 – 2,0...3,6; C16:0 – 24,0...26,8; C16:1 – 1,4...3,5; C18:0 – 16,3...18,5; C18:1 – 33,8...46,9; C18:2 – 7,4...8,1. Сумма насыщенных и ненасыщенных жирных кислот составляла по $50 \pm 2\%$ от суммы.

Основная химическая реакция, лежащая в основе процесса преобразования липидов в смесь алкиловых (этиловых) эфиров может быть записана следующим образом:



где $R_{1,2,3}$ – остатки жирных кислот.

Технический процесс трансформации липидов проводили в присутствии катализатора – серной кислоты. Было установлено, что в технических видах жиров и масел содержание свободных жирных кислот обычно составляет до 1–2 % масс., а в партиях с длительным сроком хранения, этот уровень может превышать 5–10 %. Процесс этерификации эффективно протекает как в присутствии щелочей, так и кислот, однако, повышенное содержание свободных жирных кислот, в случае использования щелочного катализатора, приводит к параллельному образованию мыла. Это заметно снижало эффективность выделения и очистки конечного продукта. Условия проведения этерификации указаны в табл. 1.

Таблица 1

Условия обработки растительных липидов

| Вид масла | Соотношение спирт : масло | Температура, °C | Количество катализатора, % | Время, ч |
|-----------|---------------------------|-----------------|----------------------------|----------|
| Рапсовое | 6 : 1 | 65 | 1 | 2 |
| Пальмовое | 6 : 1 | 65 | 1 | 1 |
| Талловое | 4 : 1 | 75 | 3 | 3 |

Биотопливо из растительного сырья представляет собой смесь алкиловых эфиров природных кислот. Хроматографический анализ показывает, что в силу исходного жирно-кислотного состава сырья, в конечном продукте в основном содержатся производные пальмитиновой, стеариновой и олеиновой жирных кислот, высокое содержание которых является характерным для практически всех растительных жиров и масел.

Хроматографический анализ биотоплива из технических образцов использованных масел показывает, что продукте с наибольшим содержанием находятся эфиры C16:0, C16:1, C18:0, C18:1 и C18:2 жирных кислот.

Базовый состав компонентов жидкого биотоплива из использованных образцов растительного сырья может быть записан, % от суммы: C12:0 – 0,2...0,6; C14:0 – 0,1...0,5; C16:0 – 14,5...23,5; C16:1 – 0,5...8,4; C17:0 – 0,3...0,6; C17:1 – 1,2...2,5; C18:0 – 15,5...20,7; C18:1n9c – 20,0...42,6; C18:1n9t – 2,5...5,3; C18:2n6 – 7,0...48,1; C18:3n6 – 6,0...8,5; C18:3n3 – 1,0...2,5; C19:0 – 0,05...0,3;

C20:1n9 – 0,4...0,5; C20:0 – 3,0...3,5; C20:2 – 0,05...0,2; C20:3n6 – 0,2...0,3; C20:3n3 – 0,1...0,2; C20:4n6 – 0,2...0,4; C20:5n3 – 0,05...0,2; C21:0 – 0,3...0,5; C22:0 – 0,2...0,5; C22:1n9 – 0,1...0,3; C22:2 – 0,1...0,4; C23:0 – 0,1...0,4; C24:0 – 0,3...0,5; C24:1 – 0,2...0,4. Высокое содержание отдельных непредельных кислот – линолевой C18:2 и гамма-линоленовой C18:3 может быть связано с высокотемпературными особенностями этерификации.

Полученные продукты – смесь эфиров жирных кислот под названием биодизель можно использовать индивидуально как моторное топливо под маркой B100 или в виде 5–20 % добавки к минеральному топливу из обычных нефтепродуктов. Маркировка в этом случае обозначает процентное содержание добавки: B5...B20.

Основные свойства полученных продуктов приведены в табл. 2.

Таблица 2

Свойства биодизеля из растительного сырья различного происхождения

| Показатели | Биодизель из рапсового масла по нормам ЕС (метиловые эфиры) | Этиловые эфиры из рапса | Этиловые эфиры из пальмового масла | Этиловые эфиры из таллового масла |
|---|---|-------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|
| Содержание моноалкиловых эфиров, % | >96,5 | 98 | 97 | 98 |
| Цетановое число, усл. ед. | >51 | 56,2 | 62 | 59 |
| Плотность при 15 °С, кг/м ³ | 860–900 | 833 | 885 | 865 |
| Кинематическая вязкость при 40 °С, мм ² /с | 3,5–5,0 | 4,3 | 4,6 | 4,1 |
| Температура помутнения, °С | От –11 до –16 | 8 | 9 | – 4 |
| Кислотное число, мг КОН/г | <0,5 | 0,2 | 0,2 | 0,1 |

Как видно из представленных данных, по основным физико-химическим параметрам получаемые продукты соответствуют нормативным требованиям. Значения цетанового числа, характеризующее воспламеняемость дизельного топлива, указывают на благоприятную возможность использования данных продуктов для обеспечения эффективной работы двигателей внутреннего сгорания.

Температурный режим работы моторного топлива зависит от состава топлива и климатической зоны эксплуатации. Полученные этиловые эфиры в виде индивидуального продукта можно использовать в теплых климатических зонах, или в виде добавок к минеральному топливу. В случае низкого содержания, добавка биодизеля заметно не повышает температуру замерзания основного топлива.

Независимый масс-спектрометрический анализ продуктов сгорания при работе тракторного дизеля на предмет экологической безопасности не выявил в выхлопах вредных примесей бром, йод, фосфор и серо замещенных органических соединений.

В продуктах сгорания биодизеля на основе испытанных масел, суммарное содержание хлор- и азотзамещенных органических соединений фиксировалось на уровнях менее 0,08 %, что значительно ниже, чем при аналогичных параметрах использования минерального топлива.

Таким образом, проведенные исследования подтверждают техническую возможность получения жидкого моторного топлива из масел растительного происхождения. Учитывая перспективные тенденции развития сельскохозяйственного производства по расширенному воспроизводству масличных культур, данное исследование будет способствовать решению экологических проблем и рациональному использованию природных ресурсов в агропромышленном комплексе.

Список литературы

1. Neklyudov A. D., Ivankin A. N. Biochemical processing of fats and oils as a means of obtaining lipid products with improved biological and physicochemical properties: a review // Applied Biochemistry and Microbiology. 2002. № 5(38). P. 399–409.
2. Неклюдов А. Д., Иванкин А. Н. Экологические основы производств: взаимосвязь экологии, химии и биотехнологии. М. : МГУ леса, 2003. 368 с.

