

УДК 662.758

## ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ БИОДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРИНЦИПОВ ДИВЭ И ТЕПЛОНАСОСНОГО ЦИКЛА

А.А. Долинский, академик НАН Украины, Л.Н. Грабов, канд. техн. наук, О.И. Шматок

-Институт технической теплофизики НАН Украины, ул. Желябова, 2а, Киев-57, 03057, Украина

Розроблена технологія неперервної дії для отримання біодизельного палива, яка ґрунтується на принципах дискретно-імпульсного введення енергії (ДИВЕ). Запропонована схема рекуперації теплоти отримуваних продуктів з метою підвищення енергоефективності біоенергоконверсії.

Разработана непрерывная технология получения биодизельного топлива, основанная на принципах дискретно-импульсного введения энергии (ДИВЭ). Предложена схема рекуперации теплоты полученных продуктов с целью повышения энергоэффективности биоэнергоконверсии.

The continuous technology of reception of the biodiesel fuel, based on principles of discrete-pulse introduction of energy (DPIE) is developed. The scheme of recuperation of warmth of received products for the purpose of increase energy efficiency of bioenergy conversion is offered.

**Ключевые слова:** дискретно-импульсный ввод энергии, энергоэффективность, интенсификация, биоэнергоконверсия.

Применение биотоплива на транспорте является важным способом сокращения выбросов вредных веществ в атмосферу.

Общее производство жидкого биотоплива в мире возросло с 16 млрд. л в 2000 году до 100 млрд. л в 2010 году [1]. Сегодня жидкие биотоплива составляют около 3 % всего топлива для транспорта, а также достигают существенной доли в некоторых странах, наиболее активно развивающих данный сектор.

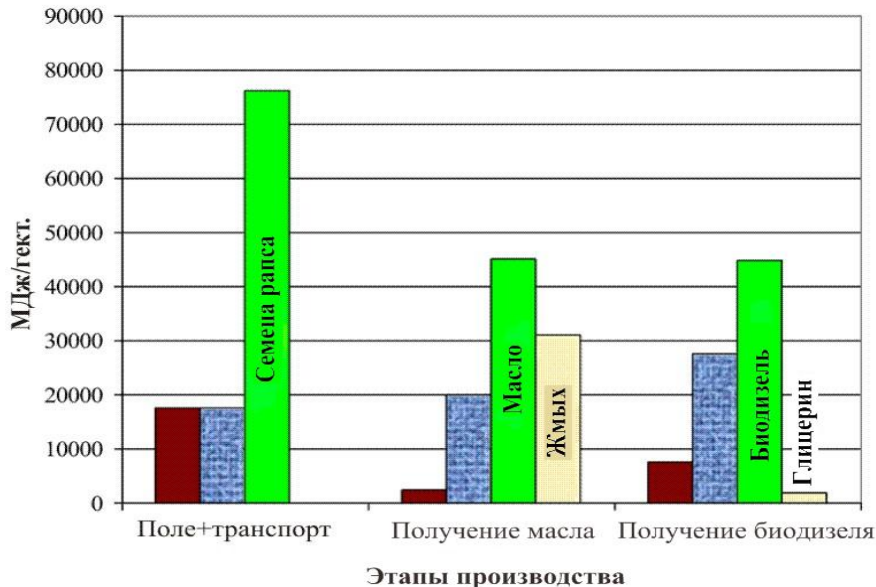
По оценкам Международного энергетического агентства (МЭА), проведенным в 2011 году, к 2050 году доля биотоплив в транспортной сфере может увеличиться до 750 млн. т.н.э. (по сравнению с текущим уровнем в 55 млн. т.н.э.) и составить 27 % всего транспортного топлива, позволяя уменьшить объемы вредных выбросов транспорта на 20 % и сократить мировую зависимость от ископаемых видов топлива [2].

Технологии получения биодизельного топлива из растительных масел основаны на процессе переэстерификации масел метиловым или этиловым спиртом, с использованием катализаторов щелочного типа. Для проведения процесса, как правило, используют емкостные аппараты с механическим перемешиванием, в которых невозможно эффективное проведение теплообменных и физико-химических

процессов переэстерификации. Недостатком такой технологии является значительный расход энергии на проведение технологических операций.

Важным показателем производства и использования топлив является коэффициент энергетической рентабельности (Energy Return On Investment (EROI)), который показывает соотношение энергии, получаемой при сжигании топлива, и энергии, затраченной на его получение.

На рисунке 1 показаны три основных этапа производства биодизельного топлива из рапса методом переэстерификации масла метиловым спиртом. Показана энергия затрачиваемая на переработку на каждом этапе, общие затраты энергии и энергетическая емкость продуктов переработки [3]. Соотношение общих энергозатрат на производство масла и полученной от масла энергии составляет 1:2,3 (EROI=2,3), то есть энергетическая прибыль при использовании масла в качестве топлива равна 130 %. Как видно из рис. 1, при переработке масла в биодизельное топливо методом переэстерификации масла метиловым спиртом затрачивается значительное количество энергии, что снижает энергетическую прибыль по сравнению с использованием необработанного масла до 50 % (EROI=1,5). Из этого следует, что для эффективного получения биодизельного топлива на основе растительных масел необходимо уменьшать энергозатраты на этапе переработки масел, повышая таким образом энергетическую рентабельность производства биодизеля. Данная задача является приоритетной на современном этапе разработки технологий получения биодизельного топлива из растительных масел.



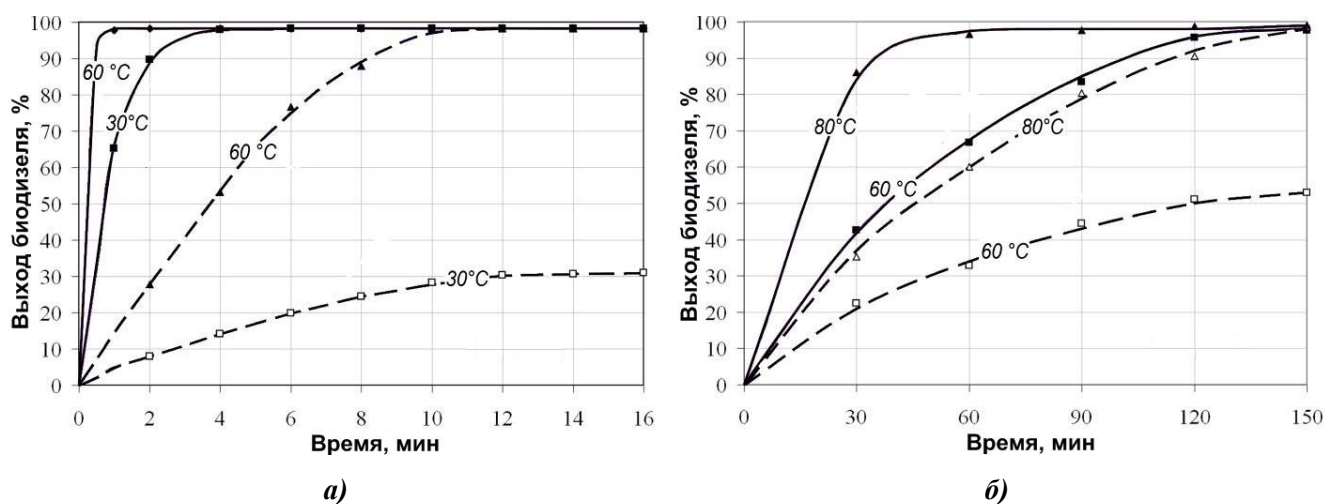
**Рис. 1 – Энергетический баланс производства биодизельного топлива из рапса (при урожайности 3,2 т/га):**

■ - энергозатраты на данном этапе обработки; ■ - общие энергозатраты; ■ - энергетическая емкость целевых продуктов; ■ - энергетическая емкость побочных продуктов.

В ИТТФ НАН Украины предложена технология получения биодизельного топлива с использованием принципа дискретно-импульсного введения энергии (ДИВЭ), реализованного в роторно-

пульсационном аппарате (РПА), которая позволяет снизить необходимые температурные параметры и сократить время протекания процесса переэтерификации.

Экспериментальные исследования проводились с использованием для переэтерификации растительных масел метилового и этилового спиртов при оптимальных экспериментально определенных значениях избытка спирта в реакционной смеси и количества катализатора. Результаты исследований представлены в виде графических зависимостей времени выхода биодизеля от температуры проведения переэтерификации в сравнении с зависимостями, полученными при аналогичных параметрах с использованием объемного реактора (рис. 2). На графиках выход биодизеля показан в процентах от теоретически возможного.



**Рис. 2 – Зависимости выхода биодизеля с использованием разных технологий и оборудования:**  
 а) переэтерификация метанолом; б) переэтерификация этанолом; — — — — — переэтерификация в объемном реакторе; ————— — переэтерификация с помощью метода ДИВЭ, реализованного в РПА.

Сравнительный анализ кривых показывает, что при использовании метода ДИВЭ для проведения переэтерификации растительных масел метиловым спиртом процесс проходит значительно интенсивнее, чем при применении объемного реактора. При температуре реакционной смеси масло-метанол на уровне 60 °С, полное прохождение процесса (выход эфиров – 99...100 %) удается достичь менее чем за 1 мин. при однократном пропуске смеси через рабочий объем РПА. При аналогичных условиях при использовании для проведения переэтерификации объемного реактора с перемешивающим устройством для полного прохождения процесса необходимо около 10 минут. При температуре проведения процесса 30 °С на стенде с использованием РПА удается достичь полного завершения процесса за 3...4 мин., в то время как в объемном реакторе при такой же температуре выход эфиров не превышает 30...50 % при проведении процесса на протяжении нескольких часов.

Анализ кривых переэтерификации рапсового масла этиловым спиртом показывает уменьшение времени полного прохождения процесса переэтерификации с 150 мин при применении объемного реак-

тора, до 60 мин при использовании для проведения процесса РПА при температуре 80 °С, а так же позволяет добиться полного выхода эфиров при температуре 60 °С.

На основе проведенных экспериментальных исследований переэстерификации растительных масел метиловым и этиловым спиртами с использованием РПА были определены рациональные теплофизические параметры проведения процесса (табл. 1).

Для переэстерификации растительных масел метиловым спиртом были выбраны параметры проведения процесса, которые дают возможность организовать непрерывную технологию получения биодизельного топлива.

Для переэстерификации растительных масел этиловым спиртом критериями выбора рациональных параметров были: уменьшение времени проведения процесса и снижение температуры ниже точки кипения этилового спирта.

Табл. 1. Параметры проведения процесса переэстерификации растительных масел метиловым и этиловым спиртами в объемном реакторе и с использованием РПА

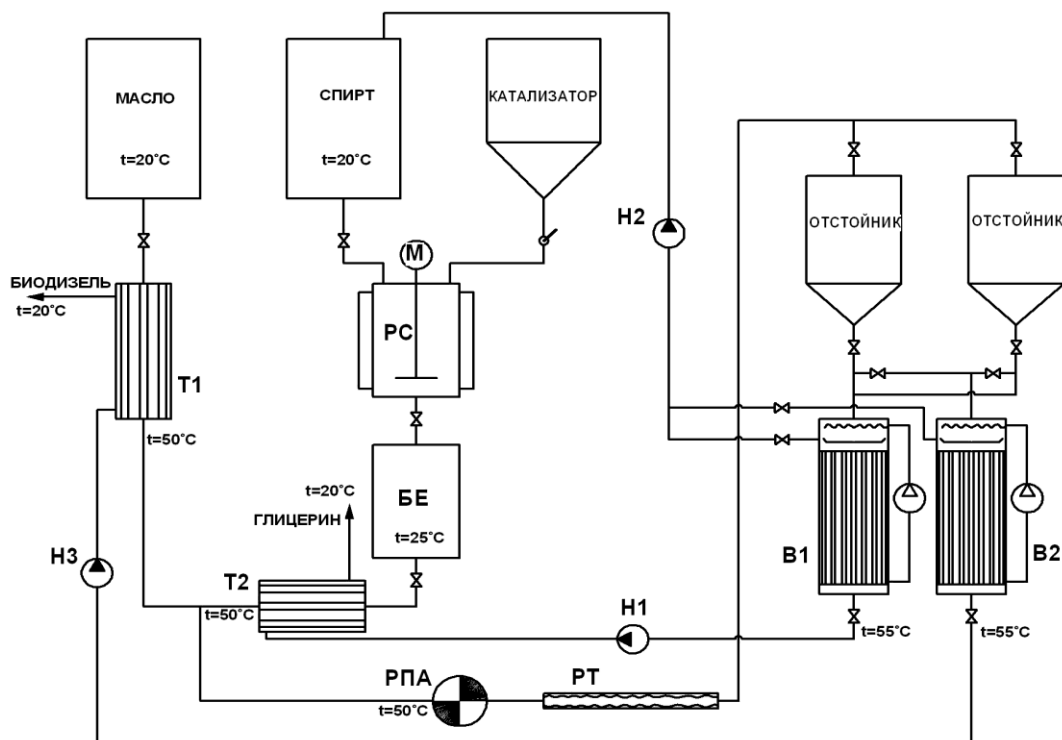
	С метанолом		С этанолом	
	В объеме	В РПА	В объеме	В РПА
Температура, °С	50-60	<b>45-50</b>	80-90	<b>65-70</b>
Давление, МПа	0,1	0,1	0,12 - 0,18	0,1 - 0,14
Время реакции, мин	10-15	<b>&lt; 1</b>	150 - 170	<b>50-70</b>
Избыток спирта, %	10-20	10-20	15-30	15-30
Тип катализатора	щелочной	щелочной	щелочной	щелочной

На основе обобщенных данных экспериментальных исследований в ИТТФ НАН Украины разработана технология получения биотоплива непрерывного действия с использованием принципа ДИВЭ, реализованного в роторно-пульсационном аппарате.

Непрерывность процесса позволяет осуществить полную автоматизацию производства биотоплива и использовать теплонасосное оборудование для рекуперации тепла выходных продуктов (биодизель и глицерин) с передачей его исходным компонентам (растительное масло и метанол), что значительно повышает общую эффективность биоэнергоконверсии исходных компонентов.

Принципиальная схема получения биодизельного топлива в непрерывном режиме с рекуперацией тепла выходных продуктов представлена на рис. 3.

Для реализации технологии подготовлена конструкторская документация на научно-техническую продукцию «Станция приготовления биотопливных смесей» производительностью 1000 кг/час. Разработана конструкторская документация на новый дисково-цилиндрический диспергатор-гомогенизатор, который является основным узлом разработанной установки. Предлагаемая технология может быть использована, как на производствах небольшой мощности на фермерских хозяйствах, так и при организации крупномасштабных производств.



**Рис. 3 – Схема получения биодизельного топлива в непрерывном режиме с рекуперацией тепла:**  
 РС – реактор-смеситель; БЕ – буферная емкость; РПА – роторно-пульсационный аппарат; РТ – реактор трубчатый; В1, В2 – испарители; Т1, Т2 – теплообменники рекуператоры; Н1, Н2, Н3 – насосы.

**Выводы:**

1. Предложена технология и оборудование непрерывного действия на основе реализованного в роторно-пульсационном аппарате принципа ДИВЭ, который позволяет снизить температуру проведения процесса переэтерификации и, соответственно, повысить общую эффективность биоэнергоконверсии растительного сырья.

2. Организация непрерывного получения биодизеля в потоке позволяет осуществить полную автоматизацию производства и организовать рекуперацию тепловой энергии, затрачиваемой на нагрев исходных компонентов, что дает возможность снижения общих энергетических затрат производства биодизеля на 40...60 % по сравнению с традиционными технологиями.

**ЛИТЕРАТУРА:**

1. Eric L. Garza The Energy Return on Invested of Biodiesel in Vermont/ Runstein School of Environment and Natural Resources Gund Institute for Ecological Economics, University of Vermont Burlington? April 24, 2011, с. 23
2. Technology Roadmap Biofuels for Transport, МЭА 2011 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.iea.org/papers/2011/biofuels\\_roadmap.pdf](http://www.iea.org/papers/2011/biofuels_roadmap.pdf)
3. Хохотва О.П. Зелене паливо: Європейський досвід / О.П. Хохотва // Нафтовий огляд «Термінал». – 2006. – №35. – С. 8-11.