

**Рисунок 4. График отклонений воздушного зазора при селективной сборке**

#### Литература

1. Козловский В.Н., Немцев А.Д. Управление качеством и надежностью автомобильного генератора. Учебное пособие. – Тольятти., 2005.-132с.
2. Козловский В.Н., Немцев А.Д. Управление качеством и надежностью автомобильного электростартера. Учебное пособие. – Тольятти., 2007.-100с.
3. Ютт В.Е. Электрооборудование автомобилей. – М., 1995.-304с.
4. Клюкин П.Н. «Современные тенденции развития автомобильной диагностики и их отражение в учебном процессе». ИЗВЕСТИЯ МГТУ «МАМИ» № 1 (11) .- М., 2011.- 314-318с.
5. Акимов А.В., Чернов А.Е. « Методика проектирования основных компонентов систем электроснабжения и пуска автотранспортных средств, учитывающая условия эксплуатации, события и алгоритм». ИЗВЕСТИЯ МГТУ «МАМИ» № 2 (12).- М., 2011.- 61-69с.

#### **Установки для получения метилового эфира из растительного масла**

к.т.н. доц. Белов В.П., Зуев Н.С., Пугачёв И.О., к.т.н. доц. Апельинский А.В.  
Университет машиностроения (МАМИ)  
*easytomemorize@mail.ru, pugachev\_02.08.1990@mail.ru,*

*Аннотация.* Данная статья посвящена изучению существующих методов и установок для получения метиловых эфиров жирных кислот из растительных масел. Описаны реакции получения метиловых эфиров жирных кислот из рапсового масла, проведен их анализ и сравнение. Приведено описание установок для получения метиловых эфиров растительных масел, описан их принцип действия на примере рапсового масла (РМ) и получения метилового эфира рапсового масла. Указаны достоинства и недостатки каждого метода и установки.

*Ключевые слова:* метиловый эфир растительных масел, метиловый эфир рапсового масла (МЭРМ), рапсовое масло (РМ), дизельное биотопливо (ДБТ), реакция этерификации, суперкритическая технология, глицерин, возобновляе-

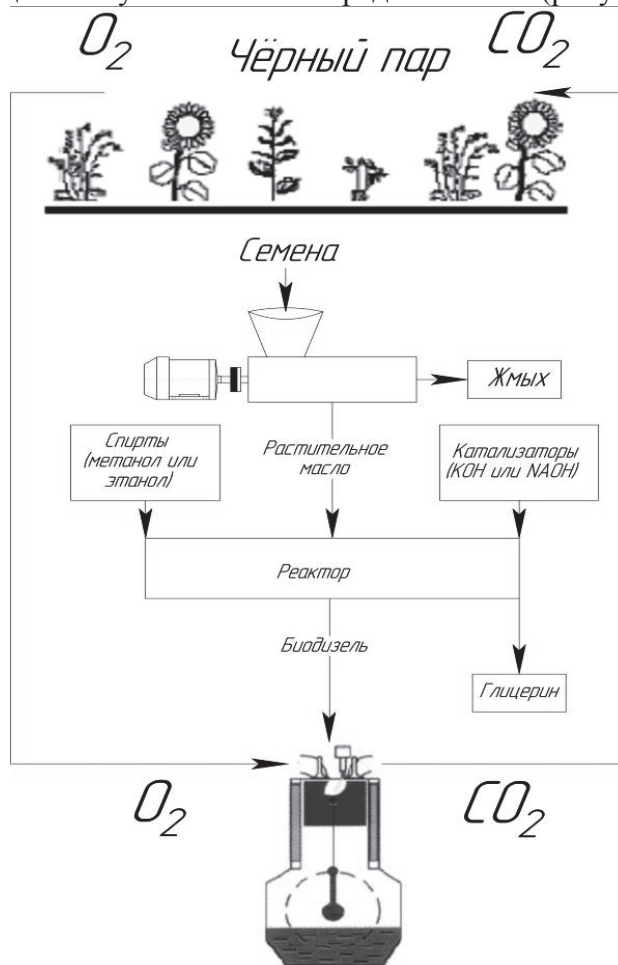
*мые источники топлива*

В связи с увеличением потребления автотранспортом топлив нефтяного происхождения в скором времени может возникнуть их дефицит. Во всем мире идут интенсивные исследования по поиску альтернативных видов топлива, кроме того, их использование позволяет снизить токсичность отработавших газов. Отдается предпочтение замене невозобновляемых источников топлива на возобновляемые [2].

Одним из решений этих проблем является использование топлив на основе растительных масел. Топлива на основе растительных масел относятся к разряду биодизельных топлив (ДБТ) и могут применяться в дизелях следующим образом:

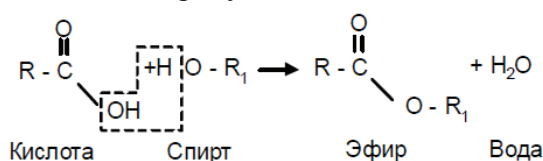
- Как очищенное рапсовое масло (РМ) или его смеси с ДТ
- В качестве метилового эфира рапсового масла (МЭРМ) и его смеси с ДТ
- Как смеси МЭРМ со спиртами (этанолом и метанолом, которые можно получать из биомассы)

В общем виде процесс получения МЭРМ представлен на (рисунке 1):



**Рисунок 1. Общая схема получения МЭРМ**

Реакции кислот со спиртами, ведущие к образованию сложных эфиров жирных кислот, называются реакциями этерификации. В общем виде получение таких эфиров может быть выражено уравнением, показанным на рисунке 2.



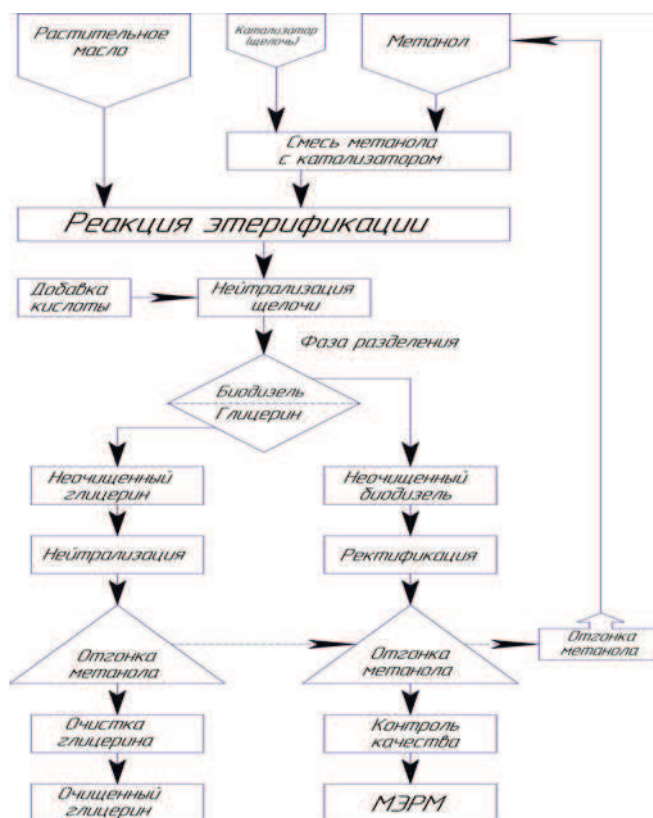
**Рисунок 2. Реакция этерификации**

Существуют некоторые особенности получения МЭРМ. Например, в растительное масло добавляется смесь спирта с катализатором (рисунок 3).



**Рисунок 3. Схема получения МЭРМ с добавкой смеси спирта с катализатором**

Согласно полной схеме (рисунок 4), сначала происходит смешивание метанола с щелочью, а затем в отдельной емкости происходит их перемешивание с очищенным растительным маслом [5].

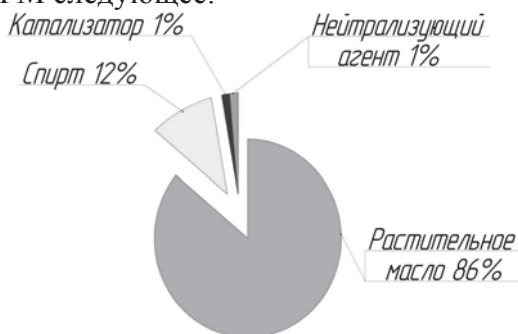


**Рисунок 4. Полная схема получения МЭРМ**

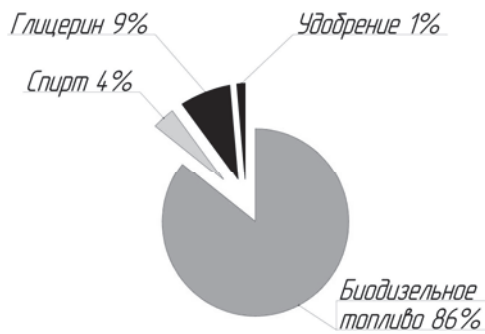
После реакции к реагентам добавляется серная кислота для нейтрализации избытка щелочи. Затем смесь поступает в разделительную ёмкость, из которой извлекаются неочищенные метиловые эфиры жирных кислот и глицерин. Растительное масло подвергается ректификации, и из него отгоняется метанол, который поступает снова для обеспечения реакции. В конце производится контроль качества МЭРМ. Из неочищенного глицерина отгоняется метанол, и производится его очистка. В некоторых случаях, когда реакцию по экономическим соображениям выполняют с недостатком катализатора (CaOH), после реакции выпол-

няется титрование (метод объёмного анализа). При этом к раствору определяемого вещества (титруемому веществу) добавляют небольшими порциями раствор титранта (рабочий раствор) с целью установления концентрации. Это необходимо, чтобы определить количество катализатора и оценить необходимость его добавления [4].

Существует варьирование реагентов при получении МЭРМ, которое объясняется различными технологическими особенностями в зависимости от сырья, используемого в производстве. Содержание реагентов до (рисунок 5) и после (рисунок 6) реакции получения МЭРМ следующее:



**Рисунок 5. Состав реагентов до приготовления МЭРМ**



**Рисунок 6. Состав реагентов после приготовления МЭРМ**

Количество РМ до реакции равно получившемуся количеству МЭРМ после реакции в процентном соотношении – 86%. До реакции количество спирта в смеси составляет 12%, после реакции 4%. Избыток спирта приводит к ускорению реакции, но это требует дополнительных затрат на удаление спирта из смеси. Объем катализатора до реакции составляет около 1%. После реакции получается 9 % глицерина [3].

Таблица 1

**Соотношение реагентов до и после реакции.**

Реагенты	До реакции, кг	До реакции, м <sup>3</sup>	До реакции, %	После реакции, кг	После реакции, %
РМ	356	386,9	87,6		
Метанол	44	55,6	10,8		
КОН	6,5		1,6		
Диметилвые эфиры жирных кислот				300	73,8
Глицерин				106,5	26,2
Суммарное количество	406,5		100	406,5	100

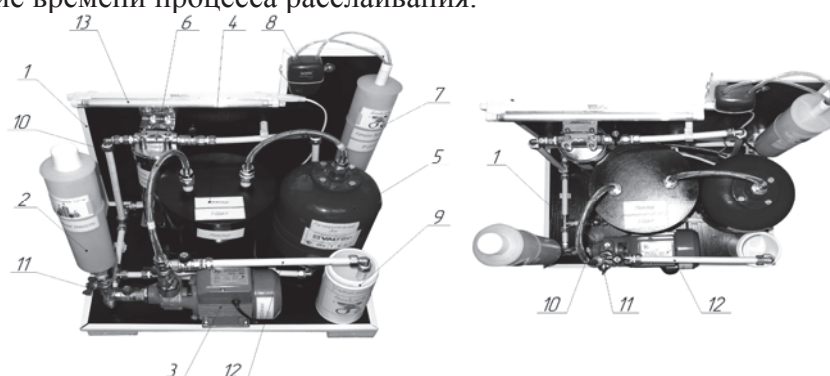
В общем можно считать, что при использовании метанола соотношение реагентов находится в следующем диапазоне: на 86 частей растительного масла добавляется от 10 до 20 частей метанола, а количество щелочи составляет от 0,8 до 1,6 частей.

#### **Лабораторный способ приготовления МЭРМ**

Обычно для отладки какого-либо химического процесса начинаются исследования с лабораторной установки. Затем по теории подобия полученные результаты переносятся на установки большего размера.

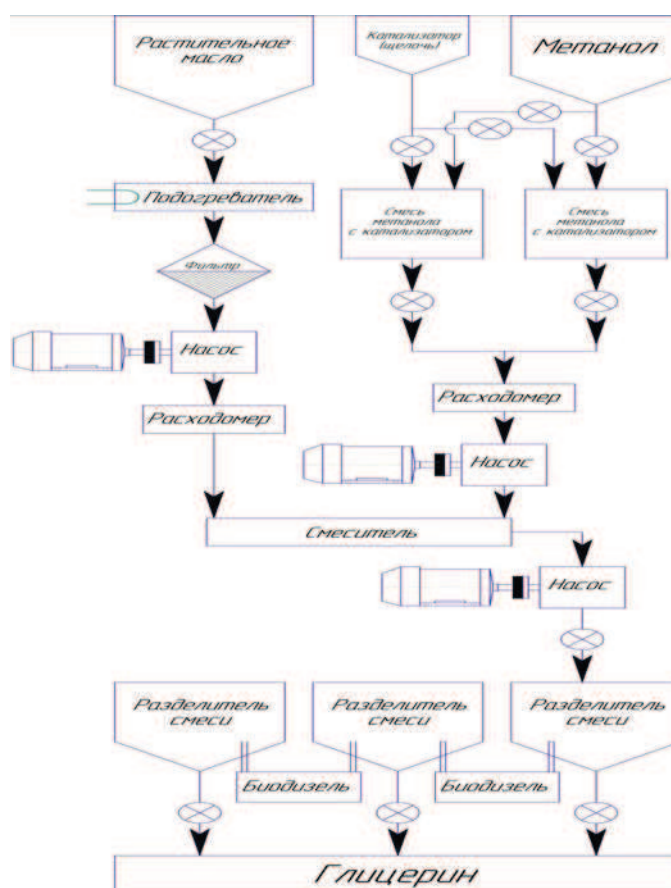
На рисунке 7 представлена опытная лабораторная установка для получения МЭРМ объемом 1000 см<sup>3</sup>. РМ подогревается в реакторе 4 до температуры 60-65°С. По достижении этой температуры смесь метанола с щелочью (КОН) подается в ручную небольшими порциями из заливной ёмкости 2, обеспечивая при этом постоянное перемешивание в течение 2 часов. Протекание реакции фиксируется визуально. При относительно малой скорости перемешивания наблюдается образование белых капель. По мере увеличения подачи смеси на поверхности масла начинают образовываться «коржи» белого цвета – глицерин. При увеличении скорости перемешивания образуется однородная масса с более твердой фазой. Прореагировавший раствор необходимо слить через сливную ёмкость 9, дать ему отстояться и затем удалить выпавший в осадок глицерин из раствора. МЭРМ промыть водой, чтобы уб-

рат водорастворимые соединения. При этом стоит соблюдать осторожность, поскольку интенсивное перемешивание в реакторе может привести к образованию эмульсии, которая вызовет увеличение времени процесса расслаивания.



**Рисунок 7. Лабораторная установка для получения МЭРМ: 1 – каркас, 2 – заливная ёмкость, 3 – центробежный насос, 4 – реактор, 5 – расширительный бак, 6 – фильтр, 7 – емкость для “Выпарки”, 8 – компрессор, 9 – сливная емкость, 10 – гибкие шланги, 11 – фитинги, 12 – металлопластиковые трубы, 13 – электроосвещение**

В настоящее время в качестве реагентов применяются метанол и щелочь (KOH). Более производительным является процесс непрерывного получения МЭРМ, схема которого приведена на рисунке 8.



**Рисунок 8. Схема получения МЭРМ непрерывным способом**

Одновременно в нескольких емкостях приготавливается смесь метанола с щелочью, которая подается через расходомеры в смеситель. На смеситель и на насос отводится функция по перемешиванию реагентов для ускорения реакции. Затем прореагировавшая смесь поступает последовательно в разделительные колонны, в которых происходит её разделение на МЭРМ и глицерин. В конце процесса глицерин удаляют из нижней части колонны. В схемах данного типа отличительной особенностью является высокая производительность смесителя,

что обеспечивает полную реакцию этерификации.

Предпочтительно использование различных типов специальных диспергаторов (аппарат для получения однородных (не расслаивающихся), мелко измельчённых смесей, а также эмульсий высокой дисперсности) и интеграторов – устройств, которые облегчают разрыв межмолекулярных связей.

Для этих целей используется ультразвук, с помощью которого время реакции может быть уменьшено с 1–5 часов до 15 минут, а процесс сепарации (разделение смешанных объёмов разнородных частиц, смесей жидкостей разной плотности, эмульсий) вместо 5–10 часов может быть выполнен за 15 минут [4]. При этом обеспечивается восстановление от 50 до 60% катализатора.

### Суперкритическая технология

Впервые суперкритическая технология была реализована в Японии, представлена на рисунке 9. В качестве реактора служил цилиндр объёмом 5 мл, который был помещен в расплавленный металл. При этом использовалось соотношение количества спирта к РМ в пропорции 42:1. [5]

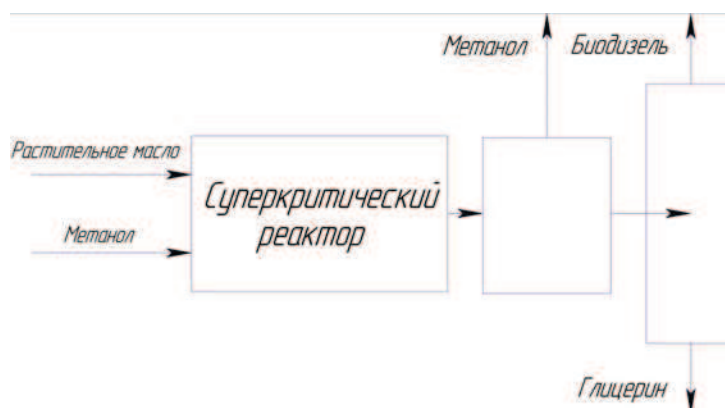


Рисунок 9. Схема процесса суперкритической технологии

В этих условиях температура в реакторе находится в диапазоне 350–400С, давление 8 Мпа, время реакции около 3–5 минут. По окончании реакции необходимо быстро охладить получившиеся продукты во избежание их распада.

К преимуществам такой технологии относятся:

- небольшое время протекания реакции;
- отсутствие необходимости в катализаторе.

К недостаткам:

- необходимость специального дорогостоящего оборудования;
- большие энергозатраты.

В настоящее время уже используются промышленные установки для производства МЭРМ по такой технологии, например на ЧП «Химпоставщик» (г. Северодонецк, Луганская обл.) [1].

Процесс проходит при температуре 300 °С и давлении 30 МПа. В настоящее время производится отладка технологического процесса для обеспечения европейских норм. Сравнительные характеристики ДБТ марки БИО ЭСТ и БИО ЭСТ «П», полученного по данной технологии, приведены в таблице 2.

Есть и другие особенности, связанные с получением МЭРМ, – количество производимого глицерина непрерывно растет. На каждую тонну МЭРМ приходится больше 100 кг сырого глицерина. Сегодня в мире получают около 15 млн. тонн МЭРМ, а потребность в глицерине оценивают от 1 до 1,5 млн. тонн в год. [1]. То есть уже сейчас мировое производство глицерина только на биодизельных заводах примерно соответствует потребности в этом веществе. А в самом недалеком будущем за счет новых предприятий в Америке и Азии предложение превысит спрос. Но ведь есть еще и заводы, для которых глицерин – целевой продукт. Все это приводит к тому, что цена на глицерин на мировом рынке быстро падает, поэтому позволить себе его очищать могут лишь самые крупные компании. Сырой глицерин

надо очистить от остатков спиртов и щелочей, а затем под вакуумом дистиллировать при температуре 180—200 °С.

Таблица 2

Характеристики БИО ЭСТ “П” по нормам EN 14214

Характеристики	ДТ по ДСТУ	БИО ЭСТ	БИО ЭСТ П*	БТ EN 14214
$\rho^{20}, \text{кг/м}^3$	844	884	0,891	-
$\rho^{15}, \text{кг/м}^3$	-	887		0,86–0,9
$v^{20}, \text{мм}^2/\text{с}$	5,3	7,3	10,6	-
$v^{40}, \text{мм}^2/\text{с}$	-	4,73		3,5–5
$t_{\text{всп}}^{\text{эм}}, \text{°C}$	78	173	150	120min
$Q_{\text{н}}, \text{кДж/кг}$	42700	37200	37200	-
Цетановое число	45	51	52	51min
Йодное число, г ( $I_2/100\text{г}$ )	6	129,5	110	120max
Содержание воды, мг/кг	нет	300	нет	500max
Содержание фосфора, мг/кг	-	9	8	10max
Кислотное число, мг КОН/г		0,46	До 1	0,5max
Содержание метанола, % масс		0	0,05	0,2max
Содержание эфира, % масс			96,5	96,5min
Содержание свободного глицерина			0,04**	0,02max
Содержание моноглицеридов, % масс		Норма*	0,93**	0,8max
Содержание диглицеридов, % масс		Превышение*	0,6**	0,2max
Общий глицерин, % масс			0,385%	0,25max
$t_{\text{пом}}, \text{°C}$	-12	-3	0	
$t_{\text{заст}}, \text{°C}$	-24	-5	-5	

\*по результатам анализов в Польше.

\*\*результаты анализов ASG-Analytik-Service Gesellschaft mbH (Германия)

Глицерину необходимо найти экономически выгодное применение (рисунок 10).

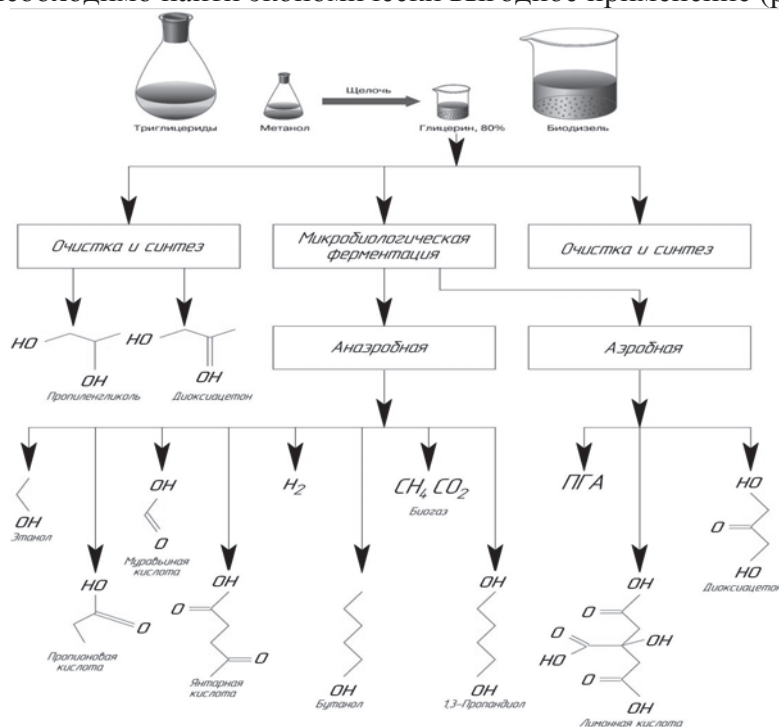


Рисунок 10. Дальнейшее использование глицерина

Очищенный глицерин используют для производства технических моющих средств (мыла). После глубокой очистки получают фармакологический глицерин. При добавлении фосфорной кислоты к глицерину можно получить фосфорные удобрения. Если не будет возможности дальнейшего использования глицерина, то он станет ограничивать распространение ДБТ.

### Выводы

Использование реакции этерификации является доступным способом получения МЭРМ. При этом следует отметить, что в зависимости от степени совершенства технологии получают МЭРМ с разной глубиной переработки, что сказывается на его качестве.

Для получения МЭРМ можно использовать серную кислоту и этанол, но для ускорения процесса обычно используют метанол и щелочь (KOH или NaOH), чаще KOH, как более дешевый реагент.

Последовательность получения метиловых эфиров жирных кислот из РМ сводится к следующему:

- очистка масла (фильтрация частиц из РМ не больше 5 мкм, рафинирование);
- обезвоживание спирта;
- смешивание спирта с катализатором (щелочью);
- перемешивание смеси спирта с катализатором и РМ при температуре около 80С в течение 1–2 часов;
- оценка глубины протекания реакции этерификации жирных кислот способом титрования;
- осуществление разделения МЭРМ и глицерина;
- вакуумирование МЭРМ с целью удаления метанола;
- промывка МЭРМ водой;
- вакуумная перегонка;
- удаление спирта из глицерина и его очистка.

Существуют различные схемы получения МЭРМ: в одном большом реакторе или в нескольких небольших. В конечном счете это определяется экономической целесообразностью и обработанностью технологии. Более прогрессивным методом считается непрерывное получение (рисунок 8). В настоящее время ведутся мероприятия по внедрению суперкритической технологии как наиболее быстродействующей. Традиционные схемы (рисунок 3) получения (рисунок 4) МЭРМ получили наибольшее распространение, они используются на большинстве действующих заводов.

При использовании ДБТ по сравнению с ДТ можно выделить [4]:

Достоинства:

- Хорошие смазочные характеристики.
- Биодизель, несмотря на значительно меньшее содержание серы, характеризуется хорошими смазочными свойствами, что продлевает срок жизни двигателя. Это вызвано его химическим составом и содержанием в нём кислорода.
- Более высокое Цетановое число
  - для минерального дизтоплива 42-45,
  - для биодизеля (метиловый эфир) не менее 51.
- Высокая температура воспламенения. Точка воспламенения для биодизеля превышает 150°С, что делает биогорючее сравнительно безопасным веществом.
- Увеличение срока службы двигателя. При работе двигателя на биодизеле одновременно производится смазка его подвижных частей, в результате которой, как показывают испытания, достигается увеличение срока службы самого двигателя. Важно отметить, что нет необходимости модернизировать двигатель [3].

Недостатки:

- В холодное время года необходимо подогревать топливо, идущее из топливного бака в топливный насос, или применять смеси 20 % биодизеля и 80 % ДТ марки В20.
- Небольшое время хранения (около 3 месяцев).
- Производство топлива из растений занимает большие площади.

### Литература

1. Матиевский Д.Д., Кулманакон С.П., Лебедев С.В., Шашев А.В. Применение топлива на основе рапсового масла в дизелях / Ползуновский вестник. Барнаул (Россия) – 2006. – № 4. – с. 118–127.



2. Марченко А.П., Минак А.Ф., Семенов В.Г., Линьков О.Ю., Шпаковский В.В., Обозный С.В. Расчетно-экспериментальные исследования по оценке влияния подогрева альтернативных топлив на показатели работы дизеля // Вестник Национального технического университета «ХПИ», Двигатели внутреннего сгорания. - Харьков: 2005. – № 1. – с. 8–17.
3. Bannikov M. G., Tyrlovoy S. I., Vasilev I. P., Chattha A. J. Investigation of characteristics of a fuel injection pump of a diesel engine fuelled with viscous vegetable oil diesel oil blends // Proc. Instn. Mech. Engrs. Part D. Journal of Automobile Engineering, 2006. – vol. 270. – № 6. – pp. 787–792.
4. Werner Korbitz. Status and Development of Biodiesel Production and Projects in Europe // SAE Techn. Pap. Ser. – 1995. – № 952768. – pp. 249–254.
5. Craig L. Chase, Charles L. Peterson, Gary Lowe, Paul Mann, Jeffrey A. Smith, Norman Y. Kado. A 322,000 kilometer (200,000 mile) Over the Road Test with HySEE Biodiesel in a Heavy Duty Truck // SAE Techn. Pap. Ser. – 2000. – № 2000-01-2647. – pp. 1–22.

### **Анализ кинематических параметров и энергетических свойств колёсного движителя перекатывающегося типа**

к.т.н. доц. Сергеев А.И., к.т.н. Есаков А.Е., Круглов С.М., к.ф.-м. н. Чёрный И.В.  
 Университет машиностроения, Брянский институт управления бизнесом (БИУБ)  
 (495)223 05 23 доб.1527, *trak* vs @tami.ru

*Аннотация.* Рассматривается связь кинематических параметров и энергетических свойств колёсного движителя перекатывающегося типа. Решается задача о существовании решения для трёхмерной системы «колесо перекатывающегося типа – опорная поверхность» при формировании опорной поверхности. Также устанавливается связь между скоростью движения системы и характером возникающих колебаний, влияющих на плавность хода транспортного средства.

*Ключевые слова:* колёсный движитель перекатывающегося типа, энергетические свойства, кинематические параметры, обобщённые силы, кинетическая энергия, потенциальная энергия, трансформация связи

Основными характеристиками движителя перекатывающегося типа [1], формирующего опорную поверхность движения [2], являются кинематические, динамические и энергетические соотношения, определяющие законы движения каждого звена, а также их амплитудно-частотные и фазочастотные характеристики.

Поскольку плоское движение колеса перекатывающегося типа (КПТ) [3] определяется действием активных сил, являющихся потенциальными  $\vec{F}_i = -\frac{dU}{d\vec{r}_i}$ , где  $U = U(q_1, q_2, \dots, q, s)$

полная потенциальная энергия системы. В этом случае обобщенные силы можно представить в виде (1):

$$Q_\alpha = -\sum_{i=1}^n \frac{\partial U}{\partial \vec{r}_i} \frac{\partial \vec{r}_i}{\partial q_\alpha} = -\frac{\partial U}{\partial q_\alpha} \quad (1)$$

Так как потенциальная энергия есть функция положения, то имеет место равенство:

$$\frac{\partial U}{\partial \dot{q}_\alpha} \equiv 0, \quad (\alpha = 1, 2, \dots, s).$$

Исходя из вышеизложенного, уравнение Лагранжа можно записать в виде (2):

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial}{\partial \dot{q}_\alpha} (T - U) - \frac{\partial}{\partial q_\alpha} (T - U) = 0 \quad (2)$$

или  $\frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_\alpha} - \frac{\partial L}{\partial q_\alpha} = 0, \quad (\alpha = 1, 2, \dots, s).$

Функции обобщенных координат  $q$ , обобщенных скоростей  $\dot{q}$  и времени  $t$  представ-