

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Тверская государственная
сельскохозяйственная академия»

На правах рукописи



Иванов Александр Алексеевич

**ОЦЕНКА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ
МАШИННО-ТРАКТОРНОГО АГРЕГАТА ПРИ РАБОТЕ НА
МЕТАНОЛО-РАПСОВОЙ ЭМУЛЬСИИ**

Специальность 05.20.01 – технологии и средства механизации
сельского хозяйства

Диссертация на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
доктор технических наук
доцент А.В. Шемякин

Тверь 2017

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	6
1. АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ	11
1.1 Практика отечественного и зарубежного опыта по применению альтернативных видов топлив.....	11
1.1.1 Тенденции развития и применения альтернативных топлив.....	11
1.2 Практика применения альтернативных топлив на основе растительного масла	13
1.2.1 Перспективные источники альтернативных топлив.....	13
1.2.2 Биотоплива	13
1.2.3 Биотопливо на основе растительных масел	14
1.3 Способы получения топлив на основе растительных масел и особенности их применения	21
1.4 Перспектива применения альтернативных видов топлива на основе рапсового масла	27
1.5 Способы использования топлив на основе растительных масел в двигателе внутреннего сгорания.....	37
ВЫВОДЫ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ	45
2. ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ РАБОЧЕГО ЦИКЛА И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ МАШИННО-ТРАКТОРНОГО АГРЕГАТА ПРИ РАБОТЕ НА МЕТАНОЛО-РАПСОВОЙ ЭМУЛЬСИИ	47
2.1 Способ работы дизеля машинно-тракторного агрегата.....	47
2.2 Математическое обоснование параметров рабочего цикла и эксплуатационных показателей машинно-тракторного агрегата при работе на метанола-рапсовой эмульсии	47
2.3 Результаты расчетов параметров рабочего цикла и показателей работы дизеля машинно-тракторного агрегата при работе на метанола- рапсовых эмульсиях	53
ВЫВОДЫ	59

3 МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	60
3.1 Общая методика.....	60
3.2 Методика безмоторных исследований	63
3.3 Методика проведения стендовых испытаний топливopодaющей аппаратуры дизеля машинно-тракторного агрегата при работе на метано-ло-рапсовой эмульсии	65
3.4 Методика исследования параметров свежего заряда.....	67
3.5 Методика индицирования двигателя	68
3.6 Методика исследования температуры и токсичности отработавших газов.....	70
3.7 Методика исследования эффективных показателей	73
3.8 Методика исследования эксплуатационных показателей	75
3.9 Обработка результатов и погрешности измерений	77
ВЫВОДЫ	79
4 РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ	81
4.1 Результаты исследований физико-механических свойств метано-ло-рапсовой эмульсии.....	81
4.2 Результаты безмоторных испытаний ТНВД	87
4.3 Результаты моторных исследований	90
4.4 Результаты эксплуатационных исследований	93
ВЫВОДЫ	95
5 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ДВУХТОПЛИВНАЯ СИСТЕМА ПИТАНИЯ ДЛЯ АДАПТАЦИИ ДИЗЕЛЯ МАШИНО-ТРАКТОРНОГО АГРЕГАТА.....	96
5.1 Существующие варианты исполнения многотопливных систем питания дизеля.....	96
5.2 Предлагаемая двухтопливная система питания дизеля машинно-тракторного агрегата.....	101
ВЫВОДЫ	103
6 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОТ	

ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТАНОЛО-РАПСОВОЙ ЭМУЛЬСИИ В ДИЗЕЛЕ МАШИННО-ТРАКТОРНОГО АГРЕГАТА.....	104
6.1 Расчет экономического эффекта с точки зрения экологической безопасности	104
6.2 Расчет удельного стоимостного расхода при использовании метанола-рапсовой эмульсии в качестве моторного топлива	107
6.3 Экономический эффект от использования метанола-рапсовой эмульсии в дизеле машинно-тракторного агрегата.....	108
ВЫВОДЫ	113
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	114
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	116
ПРИЛОЖЕНИЕ «А»	
ПРИЛОЖЕНИЕ «Б»	
ПРИЛОЖЕНИЕ «В»	

ПЕРЕЧЕНЬ УСЛОВНЫХ СОКРАЩЕНИЙ

ВМТ – верхняя мертвая точка;

ДВС – двигатель внутреннего сгорания;

ДТ – дизельное топливо;

КПД – коэффициент полезного действия;

ММ – моторное масло;

МРЭ – метанола-рапсовая эмульсия;

НМТ – нижняя мертвая точка;

ОГ – отработавшие газы;

ТНВД – топливный насос высокого давления;

ЦПГ – цилиндропоршневая группа;

NO_x – оксиды азота;

CO – оксид углерода;

CH_x – углеводороды.

ВВЕДЕНИЕ

В условиях нарастающего дефицита энергоносителей и существенного увеличения стоимости всех их видов исключительно актуальными становятся мероприятия по экономии энергоресурсов, внедрению новейших технологий для топливосбережения и рационального использования моторного топлива. В последнее время все более широкое распространение получают альтернативные биотоплива на основе растительных масел и их производных. Однако ввиду различий физико-химических и энергетических свойств биотоплива и традиционного дизельного топлива (ДТ) использование первых в двигателях выпускаемых серийно и находящихся в эксплуатации весьма ограничено по конструктивным причинам. В качестве альтернативного топлива для дизелей наиболее изучены смесевые топлива, содержащие в качестве биологического компонента метиловый эфир рапсового масла, подсолнечное, рапсовое, сурепное, сафлоровое, горчичное и рыжиковое масла. Сравнительный анализ свойств различных топлив показывает, что одним из перспективных видов биотоплива для дизеля является смесь рапсового масла с легкими альтернативными топливами, представителем которого является алифатический спирт метанол.

Актуальность темы подтверждается Концепцией развития аграрной науки и научного обеспечения агропромышленного комплекса Российской Федерации на период до 2025 г. (утв. приказом Минсельхоза России от 25 июня 2007 г. №342), в которой отмечается одним из приоритетных направлений развития аграрной науки и научного обеспечения АПК России в области механизации, электрификации и автоматизации является разработка оборудования с использованием возобновляемых источников энергии, в том числе биотоплива. Наиболее перспективное направление – использование моторного топлива для дизельных двигателей на основе растительных масел.

В связи с этим результаты оценки применения метанола-рапсовой эмульсии в качестве биологического топлива для дизелей являются

актуальными научно и практически значимыми для агропромышленного комплекса России и прочих отраслей, производящих эксплуатацию мобильных дизельных средств с двигателями.

Степень разработанности темы. Результаты исследований по применению биологического топлива для дизелей приведены в научных трудах российских и зарубежных ученых. Однако в этих работах недостаточно полно исследованы вопросы теоретической и практической оценки показателей работы дизеля, которые бы оценивали особенности его работы при использовании метанола-рапсовой эмульсии в качестве топлива. Кроме того известные на настоящее время технические решения не в полной мере позволяют адаптировать дизельный двигатель для работы на рассматриваемом альтернативном топливе. Поэтому решение данных вопросов требует дальнейших теоретических и экспериментальных исследований.

Работа выполнена по плану НИОКР ФГБОУ ВО «Тверская ГСХА», тема «Улучшение энергетических, экономических, ресурсных и экологических показателей мобильных средств в сельском хозяйстве» (ГРНТИ 68.85.83, 68.85.15, 55.29.29, 12.75.51 № гос. регистрации 01.2.007 04619).

Цель исследований - оценка эксплуатационных показателей машинно-тракторного агрегата при работе на метанола-рапсовой эмульсии.

Объект исследований – индикаторные, эффективные, экологические, топливно-экономические показатели работы дизеля Д-242 и эксплуатационные показатели пахотного агрегата (Беларус 572 + ПЛН 3-35) при работе на метанола-рапсовой эмульсии.

Предмет исследований - закономерности изменения индикаторных, эффективных, экологических, топливно-экономических показателей дизеля Д-242 при работе на стенде и в составе пахотного агрегата на метанола-рапсовой эмульсии.

Научная новизна диссертационной работы:

- рациональное соотношение компонентов в смесевом биологическом топливе, рекомендуемого к применению в качестве моторного топлива для дизелей;

- теоретическое и экспериментальное обоснование применения в дизеле Д-242 метанола-рапсовой эмульсии по индикаторным, эффективным, экологическим, топливно-экономическим показателям его работы;

- технические решения по конструктивной доработке дизеля Д-242 для работы на метанола-рапсовой эмульсии;

- оценка влияния применения метанола-рапсовой эмульсии на эксплуатационные показатели пахотного агрегата.

Теоретическая и практическая значимость работы. Теоретически рассмотрено применение метанола-рапсовой эмульсии в качестве моторного топлива для дизеля Д-242 в различных соотношениях компонентов. Использование метанола-рапсовой эмульсии для дизеля Д-242 в соотношении (27% рапсового масла+67% метанола+6 % масс. эмульгатора) обеспечивает замещение традиционного ДТ на 100% при незначительном уменьшении эффективной мощности до 20%, увеличении удельного эффективного расхода метанола-рапсовой эмульсии до 18%; уменьшении содержания диоксида углерода в отработавших газах до 7% и концентрации оксидов азота до 25%; незначительном снижении производительности пахотного агрегата за час чистой работы и эксплуатационной мощности по сравнению с применением минерального ДТ, что позволяет рекомендовать ее применение в качестве моторного топлива для дизеля Д-242.

С целью конструктивной доработки дизеля Д-242 для эксплуатации на метанола-рапсовой эмульсии предложена двухтопливная система питания с автоматическим выбором вида топлива и регулированием состава биотоплива, позволяющая обеспечить замещение ДТ метанола-рапсовой эмульсией до 100%.

Достоверность результатов исследований подтверждается сходимостью результатов сравнительных стендовых испытаний дизеля Д-242 и

полевых испытаний пахотного агрегата при использовании стандартного ДТ и метанола-рапсовой эмульсии, применением проверенных методик определения показателей работы дизельного двигателя.

Реализация результатов исследований. Эксплуатационные исследования пахотного агрегата, оборудованного предлагаемой двухтопливной системой питания, проводились в ОАО «Зверохозяйство Мелковское» Тверской области, что подтверждено соответствующим актом.

Методы исследований. Теоретические исследования выполнены с использованием основных положений теории двигателей внутреннего сгорания. Экспериментальные исследования проведены с использованием стандартных и частных методик. За метод исследования принят метод сравнительных стендовых и эксплуатационных исследований дизеля при работе на стандартном ДТ и метанола-рапсовой эмульсии. Обработка экспериментальных данных выполнена с применением пакета программ Microsoft Office, PlanExp B-D13 и пр.

Апробация работы. Основные результаты диссертации доложены и одобрены на Международных научно-практических конференциях ФГБОУ ВО Тверская ГСХА (2007-2016), Международной научно-технической конференции кафедры «Автомобили, тракторы и технический сервис» Института технических систем, сервиса и энергетики Санкт-Петербургского ГАУ (2013-2017).

Публикации результатов исследований. По результатам исследований опубликовано 9 работ, в том числе 6 статей в рецензируемых изданиях, указанных в «Перечне ... ВАК».

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, шести разделов, заключения, списка использованной литературы из 122 наименований и приложения на 18 с. Общий объем диссертации с приложением составляет 147 с., содержит 39 рис. и 23 табл.

Научные положения и результаты, выносимые на защиту:

- расчётно-теоретическая модель параметров рабочего цикла и показателей работы дизеля Д-242, входящего в конструкцию машинно-тракторного агрегата, на метано-рапсовой эмульсии;
- рациональное соотношение компонентов в метано-рапсовой эмульсии, рекомендуемой к применению в качестве моторного топлива для дизеля Д-242, входящего в конструкцию машинно-тракторного агрегата;
- конструкция двухтопливной системы питания дизеля Д-242, входящего в конструкцию машинно-тракторного агрегата, для работы на метано-рапсовой эмульсии.

1 АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

1.1 Практика отечественного и зарубежного опыта по применению альтернативных видов топлив

1.1.1 Тенденции развития и применения альтернативных топлив

Современный мировой автомобильный парк насчитывает более 700 млн. автомобилей и продолжает увеличиваться. При этом дизельные двигатели получают все большее распространение на транспорте. Зарубежные производители применяют дизели не только на грузовых автомобилях большой и средней грузоподъемности, автобусах и специальной технике, но и расширяют использование дизелей на легковые и малотоннажные автомобили. По данным фирмы Perkins (Великобритания) на 53% новых французских и 20% новых немецких автомобилей устанавливаются дизельные двигатели. По результатам исследований фирмы Peugeot (Франция) 62% покупателей во Франции и 29,8% в Европе предпочитают автомобиль с дизелем. В целом в настоящее время ежегодно в мире выпускается около 15 млн автомобилей с дизельными двигателями и их производство наращивается.

Такие темпы дизелизации обусловлены более низкой стоимостью дизельного топлива, а также лучшей топливной экономичностью дизелей и меньшей токсичностью их отработавших газов по сравнению с бензиновыми двигателями. Несколько уступают дизели бензиновым двигателям по массогабаритным показателям, что обусловлено повышенной степенью сжатия и высоким максимальным давлением сгорания, достигающим 20,0 МПа и более. Указанные преимущества дизелей по сравнению с бензиновыми двигателями и обусловили приведенные выше темпы дизелизации автомобильного транспорта и, как следствие, необходимость опережающего производства и последующего потребления дизельного топлива в сравнении с другими типами топлив.

Продолжительное время отечественный топливно-энергетический комплекс использовал энергоносители преимущественно нефтяного происхождения. Однако в последние годы наметилась тенденция к снижению роли нефти и нефтепродуктов в российской экономике [1]. Это объясняется снижением темпов роста добычи нефти, вызванным выработкой ее крупных месторождений, незначительным вводом в эксплуатацию новых месторождений, заметным сокращением инвестиций в поисково-разведочные работы, отсутствием эффективных технологий добычи, обеспечивающим высокую отдачу нефтяных пластов. Поэтому ожидаемый подъем национальной экономики неизбежно будет сопровождаться дефицитом нефти и нефтепродуктов, что создает предпосылки к более широкому использованию других энергетических ресурсов [2, 3].

Среди нетрадиционных топлив, применение которых возможно в дизельных двигателях, выделяют нефтяные топлива и топлива, производимые из альтернативных источников энергии. Альтернативные топлива условно разделяют на три группы [4, 5, 6, 7].

К первой группе можно отнести смесевые топлива, содержащие нефтяные топлива с добавками ненефтяного происхождения (спиртами, эфирами и др.). Смесевые топлива по эксплуатационным свойствам, как правило, близки к традиционным нефтяным топливам.

Вторая группа включает синтетические жидкие топлива, приближающиеся по свойствам к традиционным нефтяным топливам. Эти топлива получают при переработке твердых, жидких и газообразных полезных ископаемых (угля, горючих сланцев, природного газа и газовых конденсатов и т.п.) [8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15].

Третью группу составляют ненефтяные топлива (спирты, эфиры, газообразные топлива) существенно отличающиеся по физико-химическим свойствам от традиционных нефтяных топлив [16, 17].

1.2 Практика применения альтернативных топлив на основе растительного масла

1.2.1 Перспективные источники альтернативных топлив

Наиболее перспективными из альтернативных топлив являются топлива, получаемые из газового сырья, угля и сланцев, а также топлива растительного происхождения. Ежегодно в мире образуется 170-200 млрд т растительной биомассы (в пересчете на сухую массу), что энергетически эквивалентно 70-80 млрд т нефти [18, 19]. Используется лишь небольшая ее часть. При современном уровне развития техники имеется возможность дополнительного использования биомассы (еще около 2,5-5,0%) для производства моторного топлива, что эквивалентно 2-4 млрд т нефти или 3-6 млрд т угля ежегодно [20].

1.2.2 Биотоплива

Биотопливами (биологическими топливами) называются моторные топлива, которые получают из возобновляемых источников, в основном растительных источников сырья [21]. В последнее время производству этого вида альтернативного топлива уделяется значительное внимание во многих зарубежных странах.

Этиловый спирт (гидролизный и пищевой), полученный из растительного сырья, также часто называют биоэтанол, и его использование в качестве моторного топлива было рассмотрено ранее.

Кроме биоэтанола из возобновляемых источников в промышленном масштабе вырабатывают биодизельное топливо.

Для выработки биодизельного топлива могут использоваться различные масличные культуры (соя, рапс и другие). Его получают раздавливанием семян масличных культур, в результате чего получают растительное масло [21, 22]. Затем растительное масло проходит очистку и химическую обработку и получается биодизельное топливо, которое может использоваться как таковое или в виде различных композиций с традиционным нефтяным топливом.

К основным достоинствам биодизельного топлива необходимо отнести следующие:

- снижение выбросов токсичных веществ в составе отработавших газов;
- возможность выработки из возобновляемых ресурсов;
- при использовании биодизеля не требуется реконструкция инфраструктуры (хранение, автозаправочные станции, транспортировка).

К основным недостаткам биодизеля можно отнести:

- относительно низкая теплота сгорания;
- наличие свойств растворителя у биодизеля.

1.2.3 Биотопливо на основе растительных масел

Наиболее предпочтительным для создания биотоплива для дизельных двигателей оказались растительные масла. Биологические добавки на основе растительных масел в товарное дизельное топливо можно производить более чем из 50 масличных культур (подсолнечное, рапсовое, соевое, хлопковое, льняное, пальмовое, сафлоровое, арахисовое и другие) [21, 23-28].

Однако в основном биологические добавки в дизельное топливо производятся из рапса и подсолнечного масла. Масла, содержащиеся в семенах и плодах этих культур (триглицериды), близки по теплоте сгорания к дизельному топливу.

Различаются не только масла различных растений, но и масла одного и того же растения в зависимости от его происхождения. Растительные масла нестабильны, имеют повышенные вязкость и коксуемость. Эти недостатки частично устраняются при использовании их в смеси с дизельным топливом или переводом в метиловые эфиры. Анализ показывает, что физико-химические характеристики растительных масел существенно отличаются от дизельного топлива: повышенные плотность, вязкость, температура вспышки. По элементарному составу растительные масла близки друг другу, а от нефтяного топлива отличаются наличием кислорода (9,6...11,5%). Недостатками

растительных масел как топлива по сравнению с нефтепродуктами являются меньшая теплота сгорания (на 7...10%), более высокая вязкость (в шесть раз и более), повышенная склонность к нагарообразованию, низкая испаряемость и другие [29, 30].

Одним из способов устранения указанных недостатков является химическая переработка растительных масел, позволяющая получить продукты со свойствами, полностью отличными от исходного сырья – переэтерификация.

Наиболее простой и доступный способ использования рапсового масла – разбавление его дизельным топливом. Такая смесь получила название биодизельной. Такие топливные композиции называют еще «биодит» (смесевое топливо). Установлено, что с ростом содержания рапсового масла в биодизельной смеси продолжительность ее сгорания увеличивается, и при содержании масла более 60% процесс сгорания не успевает закончиться к моменту открытия выпускного клапана двигателя. Для уменьшения общей продолжительности сгорания в биодизельную смесь вводят активаторы горения, например. Органическое соединение железа – ферроцен [31].

Синтетические моторные топлива, аналогичные топливам нефтяного происхождения, могут быть получены из биомассы путем ее газификации водяным паром при температуре $t = 1000-1200\text{ }^{\circ}\text{C}$ и дальнейшего синтеза топлив из синтез-газа при повышенных температуре и давлении ($t = 200\text{ }^{\circ}\text{C}$, $p = 1,0\text{ МПа}$) в присутствии катализатора – кобальта (рисунок 1.1) [32, 33].

Из 1 кг сырья синтезируют 120-150 г жидких углеводородов, которые могут быть использованы как компоненты моторных топлив. Таким же образом получают газообразные углеводороды – олефины, применяемые для нужд органического синтеза.

Эти легкие углеводороды могут быть использованы и в качестве добавок к стандартным дизельным топливам. Кроме того, биомасса является сырьем для производства спиртов (этанола, метанола и др.), которые применяются как самостоятельные топлива для дизелей или для получения синтетических моторных топлив [34, 35].

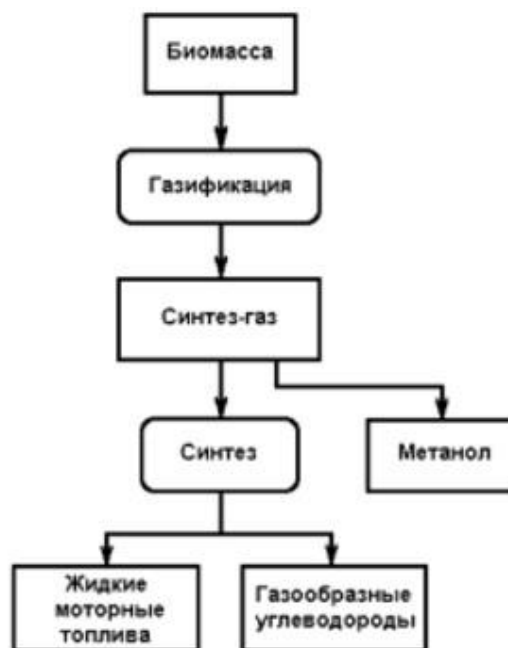


Рисунок 1.1 – Схема синтезирования топлив из биомассы.

Перспективны как моторные топлива растительные масла. В первую очередь, это рапсовое, подсолнечное, соевое и пальмовое масла. Но могут быть использованы для этой цели и другие масла – хлопковые, соевое, льняное, арахисовое, сурепное, масло ятрофа [14, 36, 37, 38]. Поскольку основой растительных масел являются жирные кислоты, содержащие углеводородную группу C_xH_y , соединенную с карбоксильной группой $COOH$, то они могут применяться как моторные топлива [39, 40]. Причем, теплота сгорания растительных масел близка к теплоте сгорания традиционных дизельных топлив [33, 41]. Их можно использовать для сжигания в дизелях в исходном виде или после специальной химической обработки, а также в смеси с нефтяными или альтернативными топливами [42, 43, 44, 45]. В Европе расширяется применение на транспорте топлив из рапсового масла и продуктов его химической переработки: метилового и этилового эфиров. В странах Западной Европы в 1992 г. на рынок поступило около 1 млн т топлива, являющегося продуктом переработки растительного (рапсового) масла [33]. В Германии в 1998 г. было произведено 100 000 т биодизельного топлива (метиловый эфир рапсового масла), а в 2000 г. его производство составило

около 200 000 т [46]. В настоящее время стоимость растительных масел и топлив на их основе соизмерима со стоимостью нефтяных дизельных топлив. Поэтому применение таких топлив в ряде случаев становится экономически выгодным, особенно в тех странах, где растительные масла имеются в избытке.

Следует отметить, что цена биодизельного топлива (метилового эфира рапсового масла – МЭРМ) заметно ниже цены синтетических топлив, получаемых из биомассы (таблица 1.1) [47].

Газообразные топлива – водород и биогаз, производимые из растительного сырья, также дороже МЭРМ. Кроме того, себестоимость биодизельного топлива из рапса ниже стоимости биоэтанола, изготовленного из сахара, крахмала, целлюлозы. Но при этом ареал выращивания сахарного тростника достаточно ограничен.

Чистое рапсовое масло на 25% дешевле метилового эфира рапсового масла, поэтому в ряде случаев рапсовое масло применяют как самостоятельное топливо.

Для условий Российской Федерации наиболее перспективным для использования в качестве топлива для дизелей является рапсовое масло.

Таблица 1.1 – Себестоимость топлив растительного происхождения

Вид топлива	Себестоимость, евро/л условного топлива	Себестоимость, евро/ГДж	
		2005 г.	2006 г.
Биодизельное топливо	0,69	19	19
Рапсовое масло	0,51	14	14
Биоэтанол из сахара	0,78	24	22
- из крахмала	0,72	22	20
- из лигноцеллюлозы	0,98	30	24
- из сахарного тростника	0,31	10	-
Биогаз	0,74	21	20
Синтетическое топливо	1,03	30	18
Водород	0,89	26-37	-

Схема переработки семян рапса и производства рапсового масла и моторных топлив на его основе показана на рисунке 1.2. [21, 48]. Получаемое при такой переработке рапсовое масло может быть использовано как самостоятельный вид топлива для дизелей, в смесях различного состава со стандартным дизельным топливом или переработано в метиловый или этиловый эфиры рапсового масла. Последние, в свою очередь, используются или как самостоятельное биотопливо, или как смесевое (в смеси с дизельным топливом).

Метиловый эфир рапсового масла получают в результате прямой переэтерификации жирных кислот рапсового масла с метиловым спиртом (метанолом) при температуре 80-90 °С в присутствии катализатора – гидроксида натрия. При переэтерификации из 1040 кг рапсового масла и 144 кг метанола получают 1 т метилового эфира рапсового масла и около 200 кг глицерина (таблица 1.2).

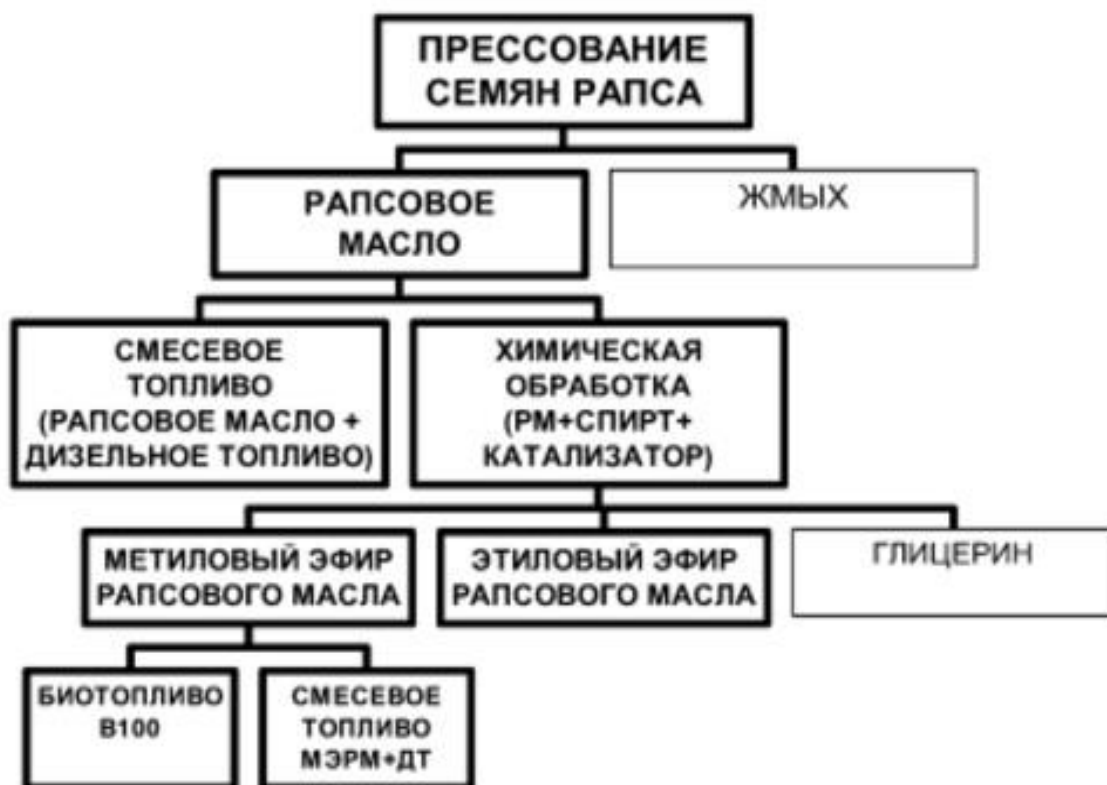


Рисунок 1.2 - Схема переработки семян рапса, производства рапсового масла и моторного топлива на его основе.

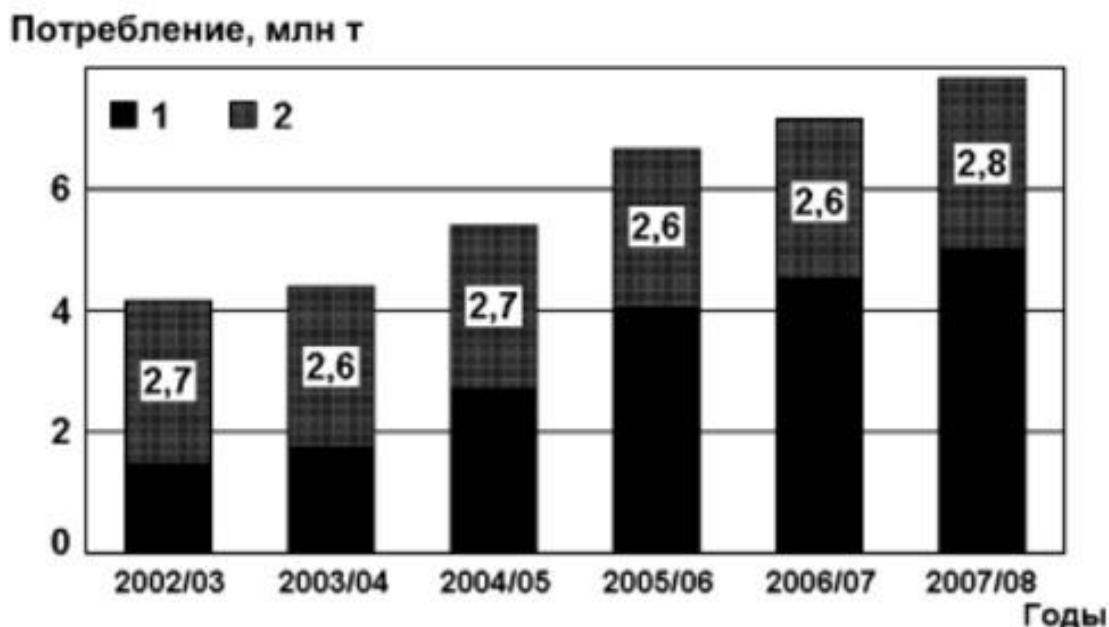
Таблица 1.2 – Расходные материалы и продукты, получаемы при производстве 1 т биодизельного топлива (метилового эфира рапсового масла)

Расходные материалы и продукты	Расход, кг
Маслосемена рапса	3050
Рапсовое масло	1040
Метанол	144
Гидроксид калия	19
Фильтрующий материал	6
Прессованный жмых	1952
Глицерин	200

При переработке семян рапса получают рапсовый шрот (жмых), являющийся высокобелковым концентратом для кормления сельскохозяйственных животных. Он не уступает соевому и подсолнечному шроту и содержит до 40% протеина и 8-11% жира.

Известны две формы рапса – яровой и озимый. В мировом сельском хозяйстве рапс занимает первые позиции как одна из основных масличных культур. В 90-е годы его посевы составляли 20-27 млн га или около 9-12% общей площади посевов масличных культур в мире. Площади посевов рапса уступают только таким важнейшим масличным культурам, как соя (29-33% площади посевов масличных культур) и хлопчатник (15-19%) и превосходят посевные площади подсолнечника (9-10%). В некоторых странах Западной Европы посевные площади рапса достигают 20% площади пахотных земель. Валовой сбор семян рапса в мире в 1999-2000 гг. оценивается в 40043 млн т в год. Главные регионы мира по производству рапса – Азия (46,8% мирового производства), Европа (30,3%), Северная Америка (19,2%). Причем, если в Азии рапс выращивается в основном для пищевого использования, то в Северной Америке и, особенно в Европе, – для получения биодизельного

топлива. В частности, в странах ЕС в сезоне 2007-2008 гг. общее потребление рапсового масла приблизилось к 7 млн т, из них 2,8 млн т было использовано вне биотопливного рынка (рисунок 1.3).



1 - биотопливо; 2 – другое использование.

Рисунок 1.3 – Структура потребления рапсового масла в странах ЕС.

При этом заметный рост потребления рапсового масла в Европе обусловлен именно увеличивающимся производством биодизельного топлива. Посевные площади, используемые для выращивания рапса в России в 2006 г. были равны 525 тыс. га, а валовый сбор семян рапса составил 520 тыс. т [18].

Таким образом, наиболее перспективными топливами растительного происхождения для дизельных двигателей являются биотоплива, получаемые из рапсового масла. При этом рапсовое масло применяется как самостоятельное топливо для дизелей, в смесях с дизельным топливом, перерабатывается метиловый, этиловый или бутиловый эфиры, которые используют как самостоятельные биотоплива или как смесевые (в смеси с дизельным или другими топливами).

1.3 Способы получения топлив на основе растительных масел и особенности их применения

Технология переработки растительных масел в моторное топливо имеет много общего с получением растительных масел пищевого назначения (рисунок 1.4) [49,50].



СЖК – свободная жирная кислота.

Рисунок 1.4 – Схема переработки семян масличных культур в моторное биодизельное топливо.

Растительные масла выделяются из сырья двумя основными способами – прессованием (отжимом) и экстрагированием. При использовании обоих способов семена масличных культур должны пройти несколько подготовительных стадий, среди которых очистка, сушка, обрушивание (разрушение) кожуры семян и отделение ее от ядер. После этого ядра семян измельчают, получая так называемую мятку. Перед отжимом мятку прогревают в жаровнях при 100-110 °С при перемешивании и увлажнении. Прожаренную

мятку (мезгу) отжимают в шнековых прессах, причем высокомасличное сырье прессуют дважды: сначала на форпрессах, а затем – после вторичного прожаривания – на прессах окончательного отжима. Твердый остаток, полученный после отжима масла, является ценным белковым кормом для животноводства.

Растительные масла экстрагируют в специальных аппаратах при 50-55° С растворителем (бензином, гексаном или этанолом) до возможно полного извлечения масла [50, 51, 52]. Из полученного раствора (мисцелла) отгоняют растворитель, который повторно возвращается в процесс экстрагирования, а масло охлаждают и фильтруют. Обезжиренный шрот после экстракции подвергают тепловой обработке паром для удаления растворителя. При выделении растительных масел по смешанному способу производства сначала осуществляют предварительный съем масла на прессах, после чего экстрагируют твердый остаток.

Растительные масла, получаемые различными способами из любого сырья, обычно очищают [51, 53, 54]. По степени очистки растительные масла делятся на сырые, нерафинированные и рафинированные. Сырые растительные масла подвергают только фильтрации. Нерафинированные масла подвергают частичной очистке, включающей отстаивание, фильтрацию, гидратацию (обработку небольшим количеством воды при температуре 70° С) и нейтрализацию. Полная схема рафинации включает механическую обработку, гидратацию, щелочную рафинацию (воздействие на нагретое до температуры 80-95 °С масло щелочью) и адсорбционную рафинацию, в процессе которой в результате обработки растительного масла адсорбентами поглощаются красящие вещества, а масло осветляется и обесцвечивается. Удаление ароматических веществ (дезодорацию) производят воздействием на растительное масло водяного пара под вакуумом.

Растительные масла, используемые как топлива для дизелей, желательно очищать от ненужных компонентов: высокомолекулярных углеводов,

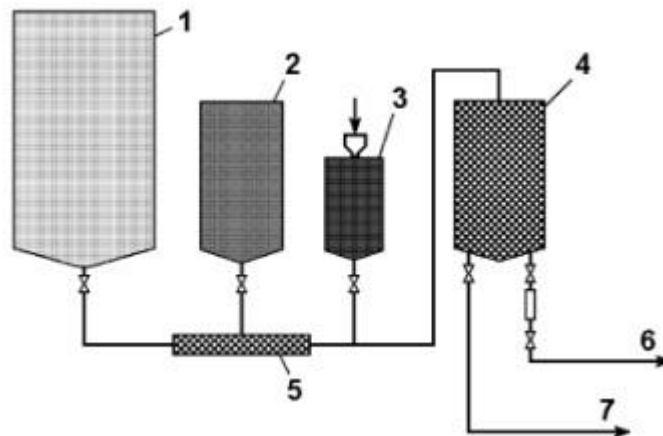
смолистых веществ, клеев и др. Этого достигают депарафинизацией, обесклеиванием, гидрогенизацией [54, 55].

Из семян рапса с 1 га посевов (в среднем 3 т), извлекают около 1 т масла. Затем масло подвергают переэтерификации метиловым спиртом, в результате чего получают около 1000 кг метилового эфира рапсового масла.

Основой производства сложных спиртов растительных масел являются реакции этерификации, представляющие собой реакции взаимодействия жирных кислот растительных масел со спиртами. При этерификации жирных кислот растительных масел могут быть использованы различные спирты: метанол, этанол, пропанол, бутанол. Возможно производство из растительных масел различных сложных эфиров – метилового, этилового, пропилового и бутилового. Для получения указанных эфиров необходимо осуществить реакцию этерификации растительного масла соответствующим спиртом в присутствии катализатора (щелочи). Поскольку метанол относится к опасным веществам, экологически более чистым процессом является процесс этерификации рапсового масла этанолом в присутствии катализатора едкого натра. Но следует отметить ингредиенты данной реакции более дорогие по сравнению с метанолом и едким калием. В настоящее время для получения сложных эфиров растительных масел в Европе наиболее широко распространен процесс этерификации рапсового масла метиловым эфиром (рисунок 1.5).

Основные технологические этапы получение биотоплива показаны на рисунке 1.6 [49].

Стадия предобработки обычно включает один из известных процессов физической или химической рафинации, в результате которой происходит очистка масла от примесей, фосфатитов, свободных жирных кислот для последующего процесса трансэтерификации. Ее конечным продуктом и является биодизельное топливо.



1 – бак с рапсовым маслом; 2 – бак с метанолом; 3 – емкость с едким калием; 4 – реактор; 5 – смеситель; 6 – трубопровод для отвода глицерина; 7 – трубопровод для отвода МЭРМ.

Рисунок 1.5 – Схема технологического оборудования с одним реактором для переэтерификации рапсового масла.

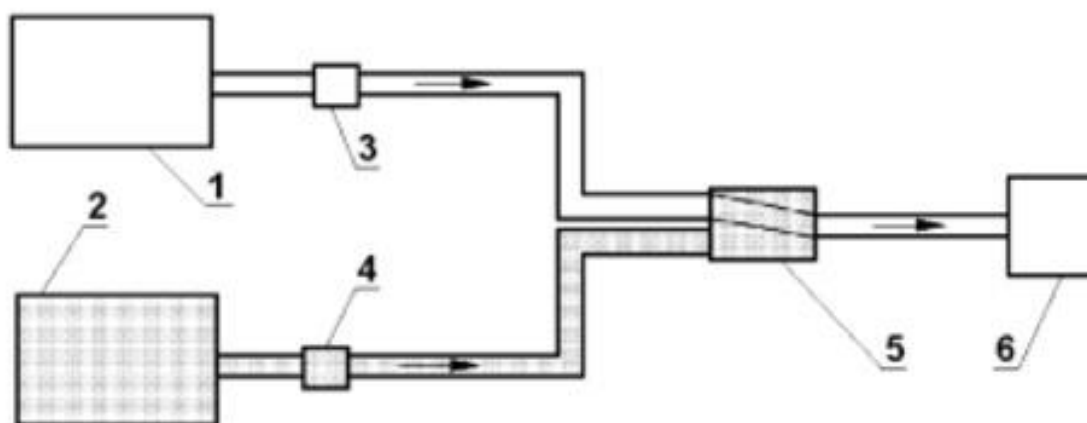


Рисунок 1.6 – Технические этапы производства биодизельного топлива.

Метилловый эфир рапсового масла как топливо широко применяют в различных странах Западной Европы [21, 48, 56, 57, 58]. В Германии такое топливо выпускают 12 централизованных заводов и 80 нецентрализованных. Этот вида топлива производят восемь немецких фирм, его реализуют белее чем на 800 заправочных станциях. Стоимость производства 1 л биотоплива (без

стоимости сырья) в 2000 г. была приблизительно равна 0,15-0,20 немецких марок, а стоимость 1 л биотоплива в настоящее время равна 1 евро [14]. Отпускаемое на АЗС в Германии биодизельное топливо, называемое «Bio-Diesel», представляет собой смесь 95% дизельного топлива и 5% метилового эфира рапсового масла.

Технологический процесс получения смесового биотоплива может осуществляться двумя способами: автоматическим обеспечением смешения двух компонентов биотоплива в требуемом соотношении или ручным способом. Первый способ обеспечивает требования экологии и высокую производительность. Второй способ позволяет при малых затратах получать смесевые топлива в ограниченном количестве. Использование автоматических устройств для получения гомогенного смесового топлива затруднено из-за сложности условий насосов, дозаторов и смесителя, что сказывается на результате смешения двух компонентов топлива. Одной из задач технологического процесса получения смесового биотоплива является подготовка топлива с большой вязкостью к смешению при малых затратах энергии. Для этого в процессе получения смесового топлива при заправке используют несколько емкостей с различными топливами (рисунок 1.7).



1 – резервуар для дизельного топлива; 2 – резервуар для растительного масла; 3 и 4 – насосы; 5 – смеситель; 6 – топливораздаточная колонка.

Рисунок 1.7 – Получение топлива в хозяйствах АПК и заправка техники.

Первый бак с топливом малой вязкости и второй бак с топливом большой вязкости подсоединены к смесителю через первую магистраль, снабженную насосом и дозатором. Вторая магистраль снабжена своими насосом и дозатором. Бак для смешения соединен со смесителем и подключен к раздаточной колонке, через которую осуществляется заправка транспортных средств. Второй бак подсоединен ко второй магистрали через емкость, снабженную нагревательным элементом, датчиком уровня и датчиком температуры. Причем второй бак соединен с емкостью трубопроводом, в котором установлен запорный орган в виде электромагнитного клапана. Бак для смешения оснащен датчиком уровня. Кроме того, устройство может включать в себя блок управления, к которому подсоединены датчик уровня в емкости, в смесевом баке, запорный орган и насосы.

Описанные процессы получения и непосредственного использования рапсового масла как топлива для дизелей имеют ряд несомненных преимуществ. Растительное масло не токсично и не огнеопасно. Растительное масло является биотопливом, имеющим многие показатели, приближающимися к аналогичным показателям нефтяного дизельного топлива. Расчеты показывают, что значения теплоты сгорания обычного дизельного топлива и рапсового масла, приведенные к 1 л топлива являются практически одинаковыми (таблица 1.3).

Таблица 1.3 – Теплота сгорания дизельного топлива и рапсового масла

Дизельное топливо	Рапсовое масло
Удельная теплота сгорания $\times$ плотность: $42000 \text{ кДж/кг} \times 0,81 \text{ кг/л} =$ $= 34020 \text{ кДж/л}$	Удельная теплота сгорания $\times$ плотность: $37000 \text{ кДж/кг} \times 0,92 \text{ кг/л} =$ $= 34040 \text{ кДж/л}$

Недостаток использования рапсового масла, не подвергнутого процессу трансэтерификации – необходимость (в ряде случаев) внесения изменений в конструкцию двигателя или создание специализированных двигателей, работающих на рапсовом масле. Двигатели, работающие на растительном масле, уже долгое время представляют интерес для исследователей и проектировщиков. Использование таких двигателей возможно в любых странах, где нет своих резервов нефти, высоки затраты на транспорт и производство дизельного топлива, а также серьезные проблемы загрязнения атмосферы.

В России и за рубежом проводят работы и по совершенствованию технологии производства смесей дизельного топлива с растительными маслами, не подверженными процессу переэтерификации. Одно из таких топлив получило название «Дизойл» [59]. Предложены технологии получения этого вида топлива на действующих маслоэкстракционных заводах. Ее суть состоит в том, чтобы разделить процесс выделения масла на два этапа – прессование и экстрагирование. При этом масло, полученное прессованием используется для пищевых целей, а масло, оставшееся в жмыхе, используют для получения биотоплива в виде дизойла. Применение ДИВЭ-экстрагирования позволяет ускорить процесс экстракции масла из жмыха в дизельное топливо и получать дизойл с различным содержанием масла [59]. В качестве ДИВЭ-генератора используют реакторный роторно-пульсационный аппарат, позволяющий ускорить процесс экстракции в 1,5-2 раза путем дискретно-импульсного ввода энергии в зоны разделения жидкой и твердой фазы.

1.4 Перспектива применения альтернативных видов топлива на основе рапсового масла

Применение дизельных топлив с повышенной плотностью снижает экономичность работы двигателя и увеличивает дымность отработавших газов. Вследствие чего этот показатель нормируется ГОСТ 305-82, ГОСТ Р. 52368-

2005 и нормативными документами многих зарубежных стран - ON C1191 (Австрия), DINE 51606 (Германия), UN1 10635 (Италия), SS15 54 36 (Швеция) и других. Знание плотности и вязкости исходных растительных масел также необходимо при проектировании аппарата для синтеза биотоплива и прогнозирования протекания отдельных стадий технологического процесса получения биотоплива. Поэтому были проведены исследования физико-химических свойств исходного рапсового и подсолнечного масел, их функциональных производных (биотоплив) - МЭРМ и МЭПМ [60, 61, 62], композиций биотоплива и дизельного топлива (биодит) в соотношениях 25:75, 50:50, 75:25. Исходное рапсовое масло при температуре равной 20°C имело плотность равную 913 кг/м³, плотность подсолнечного масла равна 918 кг/м³. С увеличением температуры до t_t плотность масел уменьшается. Установлена закономерность изменения плотности при повышении температуры масла [63]:

$$P = p_M - k_{pM} \cdot t, \quad (1.1)$$

где p_{tm} - плотность масла при температуре t , °C, кг/м³;

p_M - плотность масла при температуре 20 C, кг/м³;

K_{PM} -температурный коэффициент изменения плотности, 1/°C;

t - перепад температур, °C.

Полученные значения коэффициентов k_{PM} в формуле (1.1) справедливы при изменении температуры в пределах от 20....90 °C. Среднеквадратичное отклонение рассчитанных значений P_{tm} от экспериментальных не превышало плюс минус 3,5%. Повторяемость опытов была хорошей, разброс не превышал четыре процента. Аналогичные исследования были проведены для биотоплива и биодита [64, 65, 66, 67].

Установлено что отличие величин плотности подсолнечного и рапсового масел незначительно. Вероятно, это связано с размерами молекул триглицеридов (которые для различных масел практически одинаковы), а не с их жирнокислотным составом (заметно отличающимся для рапсового и подсолнечного масел). Плотность нерафинированного масла несколько больше, чем рафинированного, что объясняется наличием в нерафинированных маслах

сопутствующих веществ - липидов, белков, углеводов, красящих веществ [68, 69, 70].

Плотности эфиров (биотоплив), полученных из рапсового и подсолнечного масел, близки. Молекулы эфиров в три раза меньше молекул триглицеридов, но довольно велики по сравнению с молекулами углеводов, входящих в состав нефтяных топлив. Поэтому их индивидуальные различия (различный жирнокислотный состав) сказываются незначительно.

Плотность топливных композиций (биодита) наиболее близка к плотности дизельного топлива, что не противоречит правилу аддитивности.

Если p оказывает влияние на массовую цикловую подачу, практически не изменяя объемной, то величина V и сжимаемость топлива изменяют объемную цикловую подачу. Вязкость топлива в существенной степени влияет на работу топливоподающей аппаратуры, определяет внутреннее трение топливного потока и тем самым — гидравлические потери энергии в топливной системе. От величины v зависит, в частности, степень дросселирования топлива в дополнительных и отсечных окнах втулки плунжера при их открытии и закрытии плунжером [71, 72].

Однако основным фактором влияния v на цикловую подачу — это утечка топлива через зазоры прецизионных деталей топливоподающей аппаратуры. При номинальном режиме работы дизельного двигателя суммарные утечки топлива незначительны и составляют 0,3...0,5% от цикловой подачи при работе на товарном дизельном топливе. Значения кинематической вязкости исследуемых топлив приведены в таблице 1.4 [73].

Если плотности изучаемых растительных масел практически одинаковы, то вязкость рапсового масла (рафинированного или нерафинированного) сильно отличается от вязкости подсолнечного. В некоторых случаях этот показатель можно считать отличительной чертой. Составы рапсового и подсолнечного масел довольно близки между собой, различие только в количественном выражении. В молекулы триглицеридов рапсового масла

входят кислотные остатки с большим содержанием углеводов, и, соответственно, большей молекулярной массой. Аналогичная картина наблюдается при получении метиловых эфиров соответствующих масел. У смесевых топлив при введении 25% товарного дизельного топлива в биотопливо резко понижается вязкость, а при введении 75% - вязкостные характеристики близки исходному дизельному топливу. С увеличением температуры веществ вязкость уменьшается, причем особенно резко для исходных масел [74].

Таблица 1.4 - Вязкость исходных масел и биотоплив дизельного топлива и биодита при температуре испытаний 21⁰С

Исследуемое вещество	Вязкость, мм ² /с
Масло рапсовое нерафинированное	91,03
Масло рапсовое рафинированное	69,47
Масло подсолнечное нерафинированное	63,96
Масло подсолнечное рафинированное	62,28
Метиловый эфир рапсового масла	8,04-8,6
Метиловый эфир подсолнечного масла	6,04-7,0
Дизельное топливо товарное	5,1
Биодит:	
25% МЭРМ:75% дизельное топливо	5,7
50% МЭРМ:50% дизельное топливо	5,8
75% МЭРМ:25% дизельное топливо	6,7

Кислотность нефтепродуктов зависит от содержания в них нафтеновых, карбоновых и окси-карбоновых кислот, фенолов и других соединений кислотного характера. Из перечисленных соединений нафтеновым кислотам принадлежит доминирующая роль. Исходя из этого, кислотность

нефтепродуктов принято выражать не в содержании тех или иных кислых веществ, а в массовом количестве щелочи, идущем на нейтрализацию всех кислых органических соединений и отнесенном к единице массы или объема анализируемого нефтепродукта [75, 76].

Присутствие органических кислот в нефтепродуктах крайне нежелательно. Особенно это относится к низкомолекулярным жирным кислотам, обладающим большой коррозионной активностью. Поэтому кислотность топлив и масел строго нормируется в соответствующих ГОСТ.

Согласно ГОСТ кислотное число (таблица 1.5) в среднем (в зависимости от сортности) не должно превышать 0,9 мг КОН/г.

Таблица 1.5 - Кислотное число масел и метиловых эфиров

Исследуемое вещество	Кислотное число, мг КОН/г
Масло рапсовое нерафинированное	4,0-7,7
Масло рапсовое рафинированное	0,4
Масло подсолнечное нерафинированное	0,9
Масло подсолнечное рафинированное	0,3
МЭРМ	0,5
МЭПМ	0,2
Дизельное топливо	0,05
Биодит:	
25% МЭРМ:75% дизельное топливо	0,5
50% МЭРМ:50% дизельное топливо	0,5
75% МЭРМ:25% дизельное топливо	0,5

Подсолнечное рафинированное и нерафинированное, рапсовое рафинированное масла проходят по этому показателю. У нерафинированного рапсового масла кислотное число в десятки раз превышает максимальное значение.

Это можно объяснить количественным и качественным химическим составом, а также технологией получения, качеством исходного сырья и сроком реализации масла. Эфир, полученный из такого масла, имеет низкое кислотное число. Возможно, в процессе технологии получения эфиров свободные кислоты частично нейтрализуются, а частично выводятся с глицерином. В смесевых композициях кислотное число соответствует значению метилового эфира. Ни механических примесей, ни воды обнаружено не было. При промывании нефтепродуктов водой водорастворимые кислоты и щелочи переходят в раствор, в котором они обнаруживаются при действии на него соответствующих индикаторов. Определение водорастворимых кислот и щелочь особенно важно для эфиров, так как в технологии используются щелочные катализаторы, в дальнейшем их выводят из реакционной массы неорганическими кислотами. Водорастворимых кислот и щелочей не обнаружено [77, 78].

По мере охлаждения или нагревания химического соединения (вещества) происходит его переход из жидкого состояния в твердое или из твердого в жидкое. Этот переход протекает при постоянной температуре, называемой температурой затвердевания (температурой плавления). Нефтепродукты не имеют определенной температуры перехода из одного агрегатного состояния в другое. При понижении температуры некоторые отдельные компонент становятся постепенно более вязкими и малоподвижными, а некоторые выделяются в виде осадков или кристаллов.

Температура застывания нефтепродукта имеет большое практическое значение при всех товаротранспортных операциях при низких температурах, а также при использовании нефтепродуктов в зимних условиях.

По температуре помутнения (таблица 1.6) судят о гигроскопичности топлив и возможности выпадения кристаллов льда, засоряющих топливоподающую систему, что чрезвычайно опасно при эксплуатации двигателей. Полученные эфиры в основе своей содержат кислотные остатки от молекулы триглицеридов, что составляет основную часть масел, влияющую на свойства получаемых продуктов. Это объясняет высокие значения температуры помутнения и замерзания эфиров [77, 79].

Так как масла представляют собой сложную систему, состоящую на 98% из триглицеридов (остальное: воски, фосфолипиды, красящие вещества, витамины и так далее), а, кроме того, у всех этих веществ вязкие температуры замерзания и помутнения, температурные характеристики нерафинированных масел низкие.

Таблица 1.6 - Низкотемпературные характеристики

Исследуемое вещество	Температура, С ⁰	
	застывания	помутнения
Масло рапсовое нерафинированное	-27	-18
Масло рапсовое рафинированное	-24	-15
Масло подсолнечное нерафинированное	-25	-22
Масло подсолнечное рафинированное	-20	-18
МЭРМ	-19	-15
МЭПМ	-17	-13
Дизельное топливо	-10	-5
Биодит:		
25% МЭРМ:75% дизельное топливо	-10	-6
50% МЭРМ;50% дизельное топливо	-13	-8
75% МЭРМ:25% дизельное топливо	-15	-10

При рафинации из масел удаляется часть сопутствующих соединений, и соответственно изменяются температурные свойства.

При получении смесевых композиций картина резко меняется. Числовые значения температурных характеристик повышаются с увеличением доли дизельного топлива.

Температура вспышки (таблица 1.7) характеризует огнеопасность любых нефтепродуктов и является нормируемым показателем масел и дизельных топлив. В связи с огнеопасностью масла по температуре вспышки можно составить представление о характере углеводородов, входящих в его состав, а также о наличии примесей легкоиспаряющихся компонентов [77, 80].

Таблица 1.7 - Температура вспышки

Исследуемое вещество	Температура вспышки, °С
Масло рапсовое нерафинированное	198
Масло рапсовое рафинированное	180
Масло подсолнечное нерафинированное	175
Масло подсолнечное рафинированное	169
МЭРМ	161
МЭПМ	152
Дизельное топливо	75
Биодит:	
25% МЭРМ:75% дизельное топливо	100
50% МЭРМ:50% дизельное топливо	110
75% МЭРМ:25% дизельное топливо	130

Температура вспышки — очень важный показатель топлив. У получаемых эфиров температура вспышки выше 150°C, это говорит о том, что

эфиры могут вспыхнуть при нагреве их до такой температуры и поднесении пламени. У смесевых топлив температура вспышки варьирует в пределах 100...130 °С в зависимости количества дизельного топлива.

Фракционная разгонка нефтепродуктов играет особую роль при контроле и управлении их качеством. Установлена связь параметров фракционной разгонки с такими характеристиками нефтепродуктов, как вязкость, температура застывания, температура вспышки и так далее. В ГОСТ на топливо для промышленно-технических целей в разделе «Технические требования» одним из показателей является фракционный состав, который определяется в стандартных аппаратах.

Температура начала кипения у МЭПМ и МЭРМ очень высокая – 280...300 °С, что указывает на отсутствие легколетучих соединений и затрудняет запуск двигателя при пониженных температурах. У смесевых композиций тенденция другая: начало разгонки одинаково и только начиная с десяти процентной концентрации добавок, наблюдается разделение. Температура выкипания с пятидесяти процентной концентрацией добавок в топливо оказывает решающее влияние на быстроту прогрева работающего двигателя и расход топлива для этой цели.

У МЭПМ и МЭРМ начиная с 20%...80% концентрации температура разгонки практически постоянна. Смесевые составы ведут себя как дизельное топливо независимо от концентраций составляющих.

Не меньшее значение имеет и полнота испарения топлива. При повышении температур уменьшается полнота испарения топлива, что влечет за собой неравномерность его распределения по цилиндрам двигателя, разжижение смазки, увеличение расхода топлива и масла.

Термоокислительная стабильность топлива при повышенных температурах определяет его склонность к отложениям на деталях двигателя и форсунках. Эта важная эксплуатационная характеристика товарных дизельных топлив до сих пор мало изучена, а работы по исследованию термоокислительной стабильности биотоплива практически не ведутся.

Наиболее полно рассмотрен вопрос о термоокислительной стабильности керосиновых фракций, используемых в качестве топлив для реактивных двигателей.

Исследована термоокислительная стабильность исходного рапсового масла, его функциональной производной (биотоплива) – метилового эфира рапсового (МЭРМ) масла и топливных композиций (биодит). Термоокислительная стабильность товарного дизельного топлива принята за единицу. Термоокислительная стабильность биотоплива и биодита при одинаковых условиях превышает термостабильность дизельного топлива в несколько раз [41, 48, 77].

Полученные результаты свидетельствуют об увеличении термоокислительной стабильности дизельного топлива при введении в него метиловых эфиров рапсового масла. Однако нельзя подобрать оптимальное отношение биодита, исходя только из результатов определения его термоокислительной стабильности. Нужны всесторонние комплексные исследования, включая испытания на полнометражном дизеле.

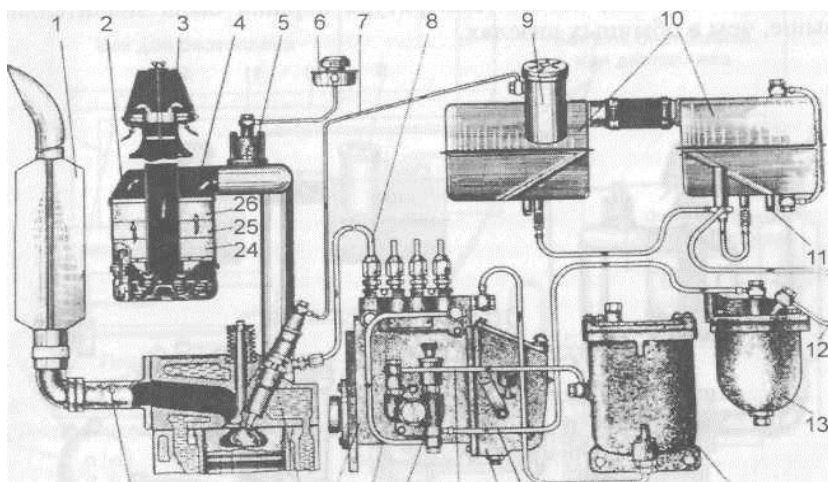
Изучалась химическая стабильность дизельного топлива и биодитов в процессе хранения. В ходе экспериментального хранения физико-химические показатели не меняются. В исследуемых топливах содержится мало активных непредельных углеводородов, азотистых, сернистых и кислородных соединений [81, 82, 83].

Таким образом, анализ результатов исследований показал возможность применения смесового топлива и РМЭ в качестве моторного топлива для дизельного двигателя. В целом опыт зарубежных фирм и результаты отечественных исследований говорит о том, что биотоплива на базе рапсового масла способствуют не только экономии нефтяного топлива и улучшению экологических показателей работы дизеля, но и решению ряда социальных проблем. Однако при работе дизельного двигателя на данных видах топлива имеется ряд недостатков. В связи с этим целью дальнейших исследований является изучение влияния качественного и количественного состава

альтернативного топлива на показатели рабочего цикла и токсичность отработавших газов дизельного двигателя.

1.5 Способы использования топлив на основе растительных масел в двигателе внутреннего сгорания

На один из топливных баков устанавливается заливная горловина (рисунок 1.8).

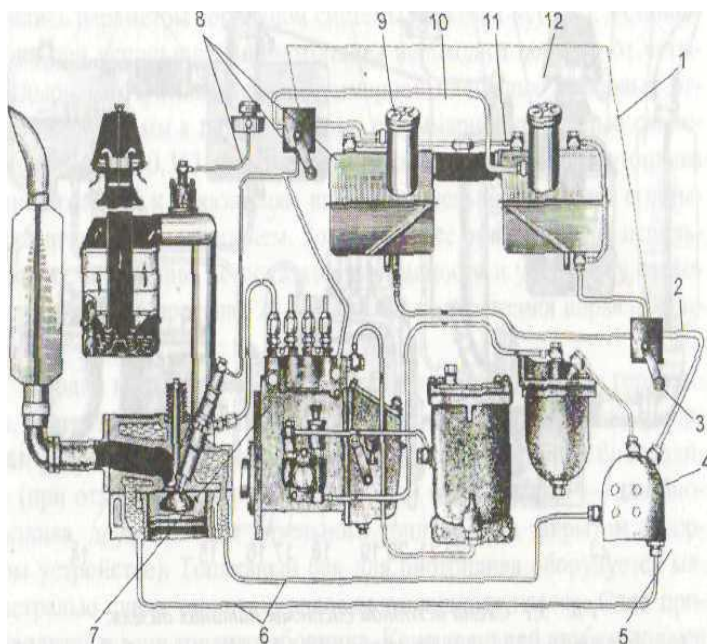


1 - глушитель; 2 - воздухоочиститель; 3 - фильтр грубой очистки топлива; 4 - впускной коллектор; 5 - электрофакельный подогреватель; 6 - топливный бачок электрофакельного подогревателя; 7 - дренажная трубка; 8 - трубка высокого давления; 9 - заливная горловина; 10 - топливные баки; 11 - сливной кран; 12 - трубка топлива; 13 - фильтр грубой очистки топлива; 14 - фильтр тонкой очистки; 15 - трубка от фильтра тонкой очистки к топливному насосу; 16 - трубка от фильтра-отстойника к топливному насосу; 17 - регулятор топливного насоса; 18 - топливная трубка от подкачивающего насоса к фильтру тонкой очистки; 19 - подкачивающий насос; 20 - перепускная трубка; 21 - топливный насос; 22 - форсунка; 23 - выхлопной коллектор; 24 - нижний фильтрующий элемент; 25 - средний фильтрующий элемент; 26 - верхний фильтрующий элемент.

Рисунок 1.8 - Схема исходной системы питания дизеля.

Магистраль, соединяющая оба этих бака, оборудуется запорным устройством, позволяющим использовать баки для биотоплива (при открытом запорном устройстве) или один бак - для биотоплива, другой - для дизельного топлива (при закрытом запорном устройстве).

Топливный бак для биотоплива оборудуется магистралью слива топлива с головки топливного насоса (рисунок 1.9). Слив производится в зону топливозаборника. Конец сливной трубки должен располагаться выше среза топливозаборника на 10...50 мм. При работе с закрытым запорным устройством на дизельном топливе и сливе его в бак для биотоплива с целью предупреждения его переполнения следует предусмотреть соединительную магистраль в верхней части баков.



1 - заливная горловина; 2 - трехходовой кран; 3 - трубка от теплообменника к фильтру грубой очистки; 4 - трубка от теплообменника к трехходовому крану; 5 - теплообменник; 6 - шланги от системы охлаждения дизеля к теплообменнику; 7 - форсунка; 8 - дренажная система; 9 - трубка от бака с биотопливом к трехходовому крану; 10 - переливная магистраль; 11- кран запорный; 12 - трубка от бака с дизельным топливом к трехходовому крану.

Рисунок 1.9 - Схема модернизированной системы питания дизеля (обозначены позиции, которые относятся к вновь вводимым элементам).

В топливной системе устанавливается трехходовой кран переключения питания с дизельного топлива на биотопливо. Диаметры проходных сечений трехходового крана не должны быть менее 10 мм (для обеспечения прокачиваемости биотоплива). Место установки крана — под правым нижним смотровым окном с приводом ручки из кабины.

Теплообменник устанавливается между трехходовым краном и фильтром грубой очистки.

Пуск и прогрев двигателя осуществляются на дизельном топливе. Температура охлаждающей жидкости доводится до $60...80^{\circ}\text{C}$, после чего с помощью трехходового крана происходит переключение на питание биотопливом [84, 85, 86,87].

Помимо указанных изменений в конструкции предусмотрена возможность разработки специальных двигателей с непосредственным впрыском для длительной работы на растительных маслах.

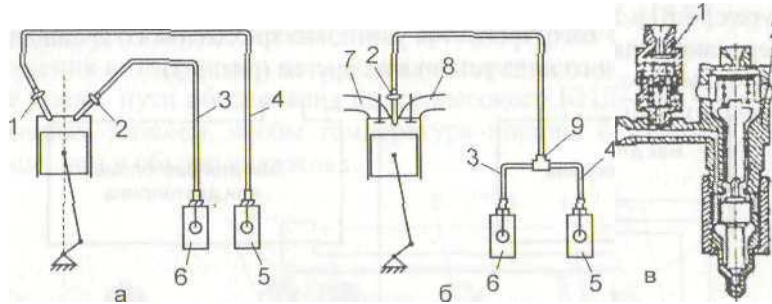
В таких двигателях необходимо предусмотреть систему предупреждения возможности попадания несгоревшего топлива в смазочное масло, пути обеспечения более высокого КПД по сравнению с обычным дизелем, чтобы температура поршня была значительно выше, чем в обычных дизелях.

В ВИМе для адаптации топливной системы энергетического средства к работе на смесевом топливе предложили устанавливать небольшой по размерам дополнительный бак для дизельного топлива, необходимого для запуска и прогрева двигателя при низких температурах [88, 89, 90]. Кроме того, требуется установка трехходового крана для переключения с одного вида топлива на другое.

Для повышения мощности и улучшения пусковых качеств дизеля предложены конструктивные решения, представленные на рисунке 1.10.

Раздельное впрыскивание (рисунок – 1.10 а): раздельная подача топлива в цилиндр осуществляется установкой на двигатель двух самостоятельных систем, работающих на две форсунки, расположенные в камере сгорания двигателя; раздельная подача топлива в неразделенную камеру сгорания

дизельного двигателя путем включения в нагнетательную магистраль перепускного клапана, который открывается и подает топливо при наличии давления в нагнетательной магистрали от топливного насоса высокого давления; раздельная подача (рисунок 1.10в) через перепускной клапан.



а - раздельная подача на две форсунки; б - раздельная подача на одну форсунку; в - раздельная подача через перепускной клапан: 1,2 - форсунки; 3,4 - топливопроводы высокого давления; 5,6 - насосы высокого давления; 7,8 - впускной и выпускной коллекторы; 9 – тройник.

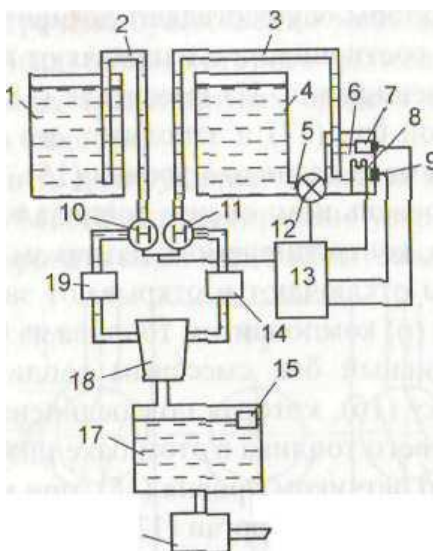
Рисунок 1.10 - Возможные конструктивные изменения дизеля для работы на дизельном топливе с биологическими добавками.

Данные конструкторские разработки с применением рапсового масла в качестве добавок к основному топливу (50:50 и 75:25) прошли испытания на двигателях СМД, Д-21, Д-243 и других и показали положительные результаты.

Разработана система смешивания рапсового масла и дизельного топлива (рисунок 1.11) при заправке машин [91, 92].

В процессе получения биотоплива при этом используются емкости с различными видами топлива. Первый бак с топливом малой вязкости и второй бак с топливом большой вязкости подсоединены к смесителю через первую магистраль, снабженную первым насосом и первым дозатором. Вторая магистраль снабжена вторым насосом и вторым дозатором, баком для смешивания, соединенным со смесителем и подключенным к раздаточной колонке для заправки транспортного средства.

Второй бак подсоединен ко второй магистрали через емкость, снабженную нагревательным элементом, датчиком уровня и датчиком температуры. Причем этот бак соединен с емкостью трубопроводом, в который установлен запорный орган, выполненный в виде электромагнитного клапана. Бак биотоплива снабжен датчиком уровня. Устройство может включать в себя блок управления, к которому подключены датчики уровня в емкости и в баке биотоплива, запорный орган и насосы.



1 – бак; 2 – первая магистраль; 3 – вторая магистраль; 4 – бак с топливом большой вязкости; 5 – трубопровод; 6 – емкость; 7- датчик уровня; 8 - нагревательный элемент; 9 – датчик температуры; 10 – насос первой магистрали; 11 – насос второй магистрали; 12 – запорный орган; 13 – блок управления; 14 – дозатор; 15 – датчик уровня; 16 – раздаточная колонка; 17 – бак биотоплива; 18 – смеситель; 19 – дозатор.

Рисунок 1.11 - Схема смесителя-дозатора.

Использование устройств для получения гомогенного биотоплива, один из компонентов которого обладает большой вязкостью, затруднено из-за сложности условий работы насосов, дозаторов и смесителя, что сказывается на результате смешивания двух компонентов топлива.

В соответствии с этим в данном технологическом процессе необходимо подготовить топливо с большой вязкостью, чтобы при малых затратах энергии было можно осуществлять дозирование и смешивание компонентов топлива различной вязкости и получать гомогенную смесь при использовании практически известных элементов оборудования станций для заправки транспортных средств [93, 94].

Устройство для получения биотоплива при заправке транспортного средства (рисунок 1.11) содержит первый бак с топливом малой вязкости и второй бак с топливом большой вязкости, подсоединенные к смесителю через первую магистраль, снабженную насосом и дозатором, и вторую магистраль, снабженную насосом и дозатором.

Смеситель подсоединен к баку биотоплива, который снабжен датчиком уровня и подключен к раздаточной колонке для заправки транспортного средства. Второй бак подсоединен ко второй магистрали через трубопровод с запорным органом и емкостью. Бак сообщается с емкостью через запорный орган, снабжен дополнительным насосом для принудительной закачки топлива большой плотности в емкость. Емкость снабжена нагревательным элементом, датчиками уровня и температуры. Для работы устройства в автоматическом режиме предусмотрен блок управления. Запорный орган выполнен в виде электромагнитного клапана и управляется блоком управления.

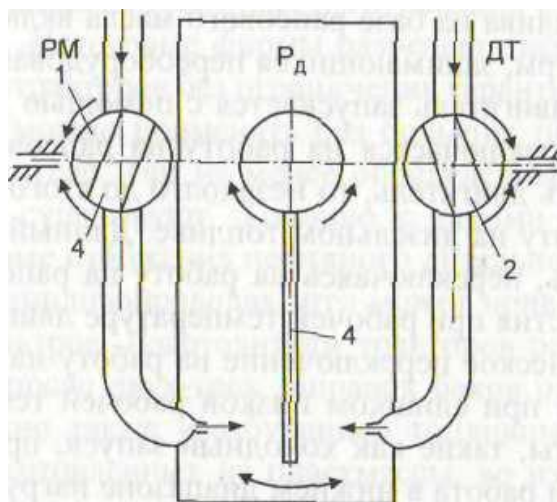
Для работы устройства открывают запорный орган в трубопроводе, из бака заполняют емкость до уровня, контролируемого датчиком уровня. После заполнения. Этой емкости включают подогрев топлива большой вязкости до температуры, при которой отмечается удовлетворительная работа насоса и дозатора с малыми энергозатратами, а в смесителе происходит гомогенное смешивание двух компонентов топлива. Контроль за нагревом осуществляет датчик температуры. После нагрева топлива в емкости закрывают запорный орган и включают насосы, которые подают компоненты топлива в дозаторы. Эти дозаторы осуществляют дозирование компонентов топлива в заданном соотношении и направляют их в смеситель для гомогенного смешивания. Из

смесителя топливная смесь поступает в смесевой бак и заполняет его до максимального уровня, контролируемого датчиком уровня, после чего насосы отключают. Если уровень компонента топлива в емкости снизился до нижнего предела, контролируемого датчиком, а бак еще не заполнен, насосы отключают и открывают запорный орган для заполнения емкости компонентом топлива из бака.

Заправлять топливный бак смесевым топливом можно через раздаточную колонку, которая подсоединена к баку. При снижении уровня смесевое топлива в этом баке ниже заданного уровня, контролируемого датчиком уровня, при незаполненной емкости открывают запорный орган и выключают насосы. Компонент топлива из бака заполняет емкость, и процесс подготовки компонента с высокой вязкостью для смешивания повторяется. Автоматическая работа устройства осуществляется блоком управления. При уменьшении смеси в смесевом баке ниже определенного уровня датчик уровня подаст сигнал на блок управления на открытие запорным органом трубопровода для заполнения емкости из бака. Сигнал от датчика уровня о заполнении емкости поступает на блок управления, который закрывает запорный орган и включает нагревательный элемент. По достижении оптимальной температуры компонента топлива в емкости датчик температуры подаст сигнал на блок управления для включения насосов, которые подают компоненты топлива через дозаторы в смеситель, а полученную смесь в смесевой бак. Если бак заполнен полностью, то датчик уровня подает сигнал на блок управления для выключения насосов. Если при этом емкость не заполнена, то датчик уровня дает сигнал на блок управления на открытие запорным органом трубопровода и заполнения емкости. Если смесевой бак и емкость заполнены полностью, то блок управления закрывает запорный орган и устройство остается в стационарном режиме до заправки колонкой топливного бака транспортного средства. Емкость можно выполнить приблизительно равной топливному баку транспортного средства, поэтому на ее прогрев будет затрачено существенно меньше энергии по сравнению с нагревом бака, объем которого должен

соответствовать для заправки нескольких транспортных средств и может значительно превышать объем емкости. Чтобы исключить дозирующие элементы в схеме, представленной на рисунке 1.11, спроектировано устройство, позволяющее смешивать и дозировать компоненты биотоплива (рисунок 1.12) [95, 96].

Принцип работы смесителя (рисунок 1.12) заключается в изменении золотником проходных сечений и выходе в зависимости от расхода в подводных топливопроводах для дизельного топлива и рапсового масла. Если расход в одном из трубопроводов падает, то регулирующая пластина-заслонка отклоняется в сторону патрубка пониженного давления, поворачивая золотник, одновременно перекрывая сечение патрубка повышенного давления и перекрывая ток одного из видов топлива.



1 - золотник; 2,4 - проходные сечения золотников; 3 - регулирующая пластина;
 P_d - давление внутри смесителя, МПа.

Рисунок 1.12 - Схема работы смесителя.

Тем самым, обеспечивая получение биотоплива с заданными параметрами, чтобы рассчитать производительность и давление внутри системы, необходимо составить систему уравнений, которая описывает гидравлические процессы.

ВЫВОДЫ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

Проведенный анализ позволяет сделать следующие выводы:

1. Результаты исследований показывают возможность применения растительных масел (рапсового масла в частности) в качестве моторного топлива для дизельного двигателя.

2. Опыт зарубежных фирм и результаты отечественных исследований говорит о том, что биотоплива на базе рапсового масла способствуют не только экономии нефтяного топлива и улучшению экологических показателей работы дизеля.

3. Наиболее перспективным видом биотоплива для дизеля представляется смесь рапсового масла с легкими альтернативными топливами, использование которой позволит улучшить показатели работы дизелей, находящихся в эксплуатации без существенного изменения конструкции двигателя. Данная технология проста в применении, что позволяет улучшить экономические показатели работы двигателя.

4. Наиболее доступным способ применения рапсового масла, является его использование в виде эмульсии с метанолом, что позволяет реализовать замещение дизельного топлива, не требует значительных затрат на внесение конструктивных изменений в двигатель и может быть реализован на дизелях, уже находящихся в эксплуатации.

Сделанные выводы позволяют сформулировать цель и задачи исследования.

Цель исследований - оценка эксплуатационных показателей машинно-тракторного агрегата при работе на метанола-рапсовой эмульсии.

Задачи исследований:

1. Оценить отечественный и зарубежный опыт по применению альтернативных видов топлива, применения различных топлив на основе растительных масел для машинно-тракторных агрегатов с дизельными двигателями.

2. Теоретически исследовать параметры рабочего цикла и эксплуатационные показатели машинно-тракторного агрегата (МТА) на минеральном ДТ и на метано-рапсовой эмульсии.

3. Экспериментально оценить физико-механические свойства эмульсии при различных соотношениях метанола и рапсового масла и характеристики деталей дизельной топливной аппаратуры при работе на метано-рапсовой эмульсии, обоснование выбора рационального состава метано-рапсовой эмульсии по показателям теоретических расчетов и физико-механических свойств метано-рапсовой эмульсии.

4. Экспериментально оценить индикаторные, эффективные и экологические показатели МТА, оснащенным дизелем Д-242, при работе на метано-рапсовой эмульсии в сравнении со штатным циклом.

5. Провести экспериментальные исследования МТА, оснащенным дизелем Д-242, в составе пахотного агрегата при работе на стандартном ДТ и метано-рапсовой эмульсии.

6. Оценить экономические показатели работы МТА, оснащенным дизелем Д-242, при замещении ДТ метано-рапсовой эмульсией.

2 ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ РАБОЧЕГО ЦИКЛА И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ МАШИННО-ТРАКТОРНОГО АГРЕГАТА ПРИ РАБОТЕ НА МЕТАНОЛО-РАПСОВОЙ ЭМУЛЬСИИ

2.1 Способ работы дизеля машинно-тракторного агрегата

Целью теоретических исследований является определение влияния использования метанола-рапсовой эмульсии в качестве моторного топлива на параметры рабочего цикла и эксплуатационные показатели МТА.

Сущность предлагаемого способа работы дизеля заключается в подаче метанола-рапсовой эмульсии в качестве топлива. При этом происходит замена дизельного топлива экологически чистым альтернативным топливом, ресурсы которого возобновляемы и практически не ограничены.

2.2 Математическое обоснование параметров рабочего цикла и эксплуатационных показателей работы машинно-тракторного агрегата при работе на метанола-рапсовой эмульсии

Целью данного этапа исследований является проведение теоретического расчёта параметров рабочего цикла и эксплуатационных показателей МТА, оснащенного двигателем Д-242, при работе на метанола-рапсовой эмульсии и их сравнение с параметрами штатного цикла.

Для реализации поставленной цели методика предусматривает:

- тепловой расчёт штатного цикла;
- тепловой расчёт цикла при работе на МРЭ;
- расчёт и построение индикаторных диаграмм, их сравнительный анализ;
- расчёт и анализ индикаторных и эффективных показателей работы дизеля.

Объектом исследований является трактор Беларус 572, оснащенный двигателем Д-242: однорядный, четырехцилиндровый дизель без наддува. Расчёт производится при работе дизеля на номинальном режиме.

Исходные данные к расчёту приведены в приложении.

Расчет показателей рабочего цикла производился согласно методике предложенной И.И. Вибэ [97]. Методика предусматривает тепловой расчет дизеля, который ведется для 1 кг топлив, в качестве которых применяется дизельное топливо «Л» (ГОСТ 305-82) и метанола-рапсовая эмульсия с соотношением 0,7 масс. рапсового масла (ГОСТ 8988-2002) и 0,3 масс. метанола (ГОСТ 2222-95).

Исходные данные к расчёту приведены в приложении.

Особенностью расчета является то, что метанола-рапсовая эмульсия отличается от дизельного топлива увеличенным содержанием скрытого кислорода в молекулах рапсового масла и метанола, а также меньшей по сравнению с дизельным топливом удельной теплотой сгорания.

При расчетах меняется количественный состав метанола-рапсовой эмульсии как соотношение компонентов (рапсовое масло / метанол) - от 5/5 до 9/1.

Расчет показателей цикла производится при неизменной продолжительности сгорания φ_z и постоянном показателе сгорания m . Величина параметра сгорания φ_z определяется степенью турбулизации рабочего тела, которая, в свою очередь, зависит от частоты вращения. Так как расчет ведется для одного скоростного режима, то φ_z принимаем постоянной. Параметр m зависит от способа смесеобразования и, следовательно, также остается постоянным.

Коэффициент наполнения вычислим по следующему выражению [97]:

$$\eta_v = \left[\frac{P_A}{P_0} - \frac{1}{\xi - 1} \left(\frac{P_r}{P_0} - \frac{P_A}{P_0} \right) \right] \cdot \frac{T_0}{T_0 + \Delta T}, \quad (2.1)$$

где P_0 – давление окружающей среды, МПа; P_A – давление в начале такта сжатия, МПа; P_Γ – давление остаточных газов, МПа; ξ – степень сжатия; T_0 – температура окружающей среды, К; ΔT – повышение температуры, К.

Температура газов в начале такта сжатия рассчитывается по формуле [97]:

$$T_A = \frac{\varepsilon \cdot P_A \cdot T_0 \cdot T_\Gamma}{P_\Gamma \cdot T_0 + \eta_V (\varepsilon - 1) \cdot P_0}, \quad (2.2)$$

где T_Γ – температура остаточных газов, К.

Коэффициент остаточных газов [97]:

$$\gamma = \frac{1}{(\varepsilon - 1) \cdot \eta_V} \cdot \frac{P_\Gamma}{P_0} \cdot \frac{T_0}{T_\Gamma}. \quad (2.3)$$

Удельный объем рабочего тела в начале сжатия рассчитываем по формуле [97]:

$$V_A = \frac{848}{\mu_B} \cdot \frac{T_A}{P_A}, \quad (2.4)$$

где μ_B – молярный масса воздуха.

Давление P_Y и температуру T_Y рабочего тела в момент воспламенения вычисляем по формулам [97]:

$$P_Y = \left(\frac{V_A}{V_Y} \right)^{n_1} \cdot P_A, \quad (2.5)$$

$$T_Y = \left(\frac{V_A}{V_Y} \right)^{n_1 - 1} \cdot T_A, \quad (2.6)$$

где n_1 – показатель политропы сжатия;

V_Y – удельный объем рабочего тела в момент воспламенения, м³/кг.

Удельный объем рабочего тела в момент воспламенения рассчитываем по зависимости [97]:

$$V_Y = \frac{V_A}{\xi} \left(1 + \frac{\varepsilon - 1}{2} \cdot \delta_Y \right), \quad (2.7)$$

где δ_Y – кинематическая функция для расчета хода поршня.

Теоретически необходимое количество воздуха для полного сгорания одного кг метанола-рапсовой эмульсии определяется по следующему выражению:

$$l_0 = \frac{1}{0,23} \times \left(\frac{8}{3} (a \cdot C^{PM} + b \cdot C^M) + 8(a \cdot H^{PM} + b \cdot H^M) - (a \cdot O^{PM} + b \cdot O^M) \right), \quad (2.8)$$

где C^{PM} , H^{PM} и O^{PM} – суммарная доля углерода, водорода и кислорода в рапсовом масле; C^M , H^M и O^M – суммарная доля углерода, водорода и кислорода в метаноле; a – массовая доля рапсового масла в составе эмульсии; b – массовая доля метанола в составе эмульсии.

Общую удельную использованную теплоту сгорания вычислим по формуле:

$$q_z = \frac{\xi \cdot (a \cdot Q_{НИЗ}^{PM} + b \cdot Q_{НИЗ}^M)}{(1 + \gamma) \cdot \alpha \cdot l_0 + 1}, \quad (2.9)$$

где $Q_{НИЗ}^{PM}$ – низшая теплотворная способность рапсового масла, кДж/кг; $Q_{НИЗ}^M$ – низшая теплотворная способность метанола, кДж/кг α – коэффициент избытка воздуха.

Давление газов в процессе сгорания определим для каждого $2,5^\circ$ п.к.в. по формуле [97]:

$$P_2 = \frac{E_2 \cdot \Delta X_{1-2} + P_1 [k_{1-2} \cdot \psi(\alpha_1) - \psi(\alpha_2)]}{k_{1-2} \cdot \psi(\alpha_2) - \psi(\alpha_1)}, \quad (2.10)$$

где E_2 – постоянная; ΔX_{1-2} – доля топлива, сгоревшего на участке; k_{1-2} – фактор теплоемкости рабочего тела; $\psi(\alpha_{1,2})$ – функция положения коленчатого вала.

Постоянная E_2 рассчитывается по формуле [97]:

$$E_2 = 0,854 \cdot \frac{\varepsilon}{V_A} \cdot q_z. \quad (2.11)$$

Доля топлива, сгоревшего на участке, вычисляется по формуле:

$$\Delta X_{1-2} = e^{-6,908 \left(\frac{\varphi}{\varphi_A} \right)^{m+1}} - e^{-6,908 \left(\frac{\varphi}{\varphi_Z} \right)^m}, \quad (2.12)$$

где e – основание натурального логарифма; φ , φ_Z – углы п.к.в., отсчитываемые от момента воспламенения до начала или конца участка.

Температуру рабочего тела в конце каждого участка вычислим по формуле [97]:

$$T_2 = \frac{T_Y}{P_Y \cdot \psi(\alpha_Y)} \cdot \frac{P_2 \cdot \psi(\alpha_2)}{\beta_{1-2}}, \quad (2.13)$$

где β_{1-2} – средний на участке $\varphi_1 - \varphi_2$ коэффициент молекулярного изменения.

Максимальное значение действительного коэффициента молекулярного изменения вычисляется по формуле:

$$\beta_{MAX} = \frac{1 + \gamma + \frac{\mu_B \cdot \left(\frac{a \cdot H^{PM} + b \cdot H^M}{4} + \frac{a \cdot O^{PM} + b \cdot O^M}{32} \right)}{\alpha \cdot l_0}}{1 + \gamma}. \quad (2.14)$$

Действительный коэффициент молекулярного изменения рассчитываем по формуле [97]:

$$\beta = 1 + (\beta_{MAX} - 1) \cdot X. \quad (2.15)$$

Наибольшую быстроту нарастания давления рассчитаем по формуле [97]:

$$\omega = \frac{P_i + P_{i-1}}{2,5}. \quad (2.16)$$

Давление P_B и температура T_B рабочего тела для условного конца расширения вычислим по формулам [97]:

$$P_B = \left(\frac{V_Z}{V_A} \right)^{n_2} \cdot P_Z, \quad (2.17)$$

$$T_B = \left(\frac{V_Z}{V_A} \right)^{n_2-1} \cdot T_Z, \quad (2.18)$$

где n_2 – показатель политропы расширения; P_Z – давление рабочего тела в конце сгорания, МПа; T_Z – температура рабочего тела в конце сгорания, К; V_Z – удельный объем рабочего тела в конце сгорания, м³/кг.

Абсолютную работу газов в политропном процессе «чистого» сжатия определим по формуле [97]:

$$l_{AY} = \frac{1}{n_1 - 1} (P_Y \cdot V_Y - P_A \cdot V_A). \quad (2.19)$$

Абсолютную работу газов процесса сжатия при сгорании определим по формуле [97]:

$$l_{YC} = \frac{(\xi - 1) \cdot V_A}{4\xi} \left[\sigma_Y - \sigma_{Y+1} \cdot P_Y + \sum_{i=y}^{i=c-2} (\sigma_i - \sigma_{i+2}) \cdot P_{i+1} + \sigma_{C-1} \cdot P_C \right]. \quad (2.20)$$

Абсолютную работу газов в процессе расширения при сгорании найдем по формуле [97]:

$$l_{CZ} = \frac{(\xi - 1) V_A}{4\xi} \left[\sigma_{C+1} \cdot P_C + \sum_{i=c}^{i=z-2} (\sigma_{i+2} - \sigma_i) \cdot P_{i+1} + (\sigma_Z - \sigma_{Z-1}) \cdot P_Z \right]. \quad (2.21)$$

Абсолютная работа газов в процессе «чистого» политропического расширения определяется по формуле:

$$l_{ZB} = \frac{1}{n_2 - 1} (P_Z \cdot V_Z - P_B \cdot V_B), \quad (2.22)$$

где P_B – давление рабочего тела в конце расширения, МПа; T_B – температура рабочего тела в конце расширения, К; V_B – удельный объем рабочего тела в конце расширения, м³/кг.

Величина работы теоретического цикла равна работе расширения, уменьшенной на работу сжатия газов [97]:

$$l_{ITEOP} = l_{CZ} + l_{ZB} - l_{AY} - l_{YC}. \quad (2.23)$$

Среднее индикаторное давление цикла [97]:

$$P_{iTEOP} = \frac{\varepsilon}{\varepsilon - 1} \cdot \frac{l_{ITEOP}}{V_A}. \quad (2.24)$$

Индикаторный коэффициент полезного действия цикла [97]:

$$\eta_{iTEOP} = \frac{\xi \cdot l_{ITEOP}}{427 \cdot q_Z}. \quad (2.25)$$

Удельный индикаторный расход топлива:

$$g_{iTEO} = \frac{632}{\eta_{iTEO} \cdot (a \cdot Q_{HIB}^{PM} + b \cdot Q_{HIB}^M)}. \quad (2.26)$$

Средняя скорость поршня $W_{П.СР.}$, м/с [97, 98]:

$$W_{П.СР.} = \frac{115 \cdot n}{3 \cdot 10^4}. \quad (2.27)$$

Среднее давление механических потерь $P_{М.П.}$, МПа [98]:

$$P_{M.П} = 0,105 + 0,012 \cdot W_{П.СР}. \quad (2.28)$$

Среднее эффективное давление P_e , МПа [98]:

$$P_e = P_i - P_{M.П}. \quad (2.29)$$

Механический КПД η_M [98]:

$$\eta_M = \frac{P_e}{P_i}. \quad (2.30)$$

Эффективный КПД η_e [97]:

$$\eta_e = \eta_i \cdot \eta_M. \quad (2.31)$$

Эффективная мощность N_e , кВт [99]:

$$N_e = \frac{P_e \cdot n \cdot 4,75}{120}. \quad (2.32)$$

По результатам теплового расчёта строятся индикаторные диаграммы цикла в Р-ф и Т-ф координатах. Расчет и построение индикаторных диаграмм, определение индикаторных и эффективных показателей производится по стандартным методикам.

Математический расчёт параметров рабочего цикла дизеля МТА при работе на метанола-рапсовой эмульсии представлен в приложении.

2.3 Результаты расчетов параметров рабочего цикла и показателей работы дизеля машинно-тракторного агрегата при работе на метанола-рапсовых эмульсиях

Расчёт параметров рабочего цикла и показателей работы дизеля при подаче метанола на впуске проведён на персональном компьютере при использовании программы Microsoft Excel в соответствии с изложенной методикой. Результаты расчёта представлены в приложении. На рисунках 2.1 и 2.2 представлены расчетные индикаторные диаграммы в координатах Р – ф и Т – ф работы дизеля МТА на ДТ и метанола-рапсовой эмульсии (соотношение 30:70)

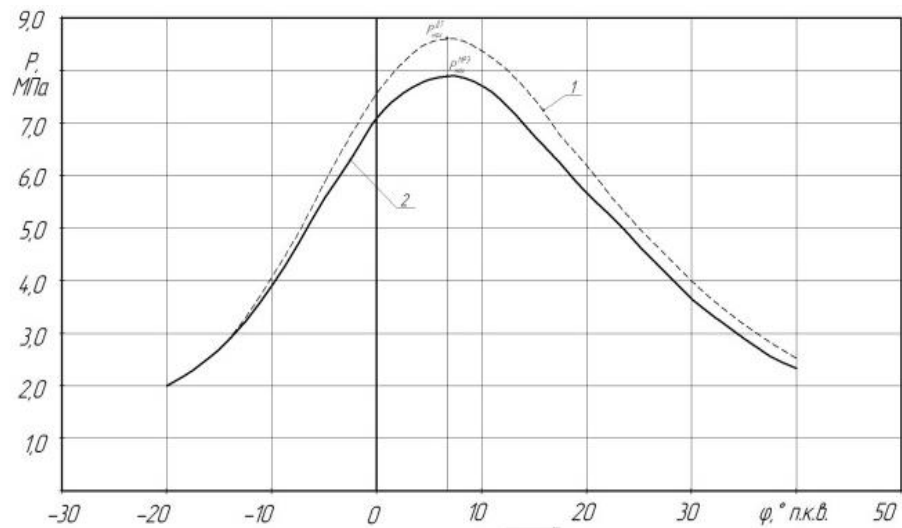


Рисунок 2.1 – Расчетная индикаторная диаграмма в координатах $P - \varphi$ работы дизеля МТА на ДТ и метанола-рапсовой эмульсии (соотношение 30:70).

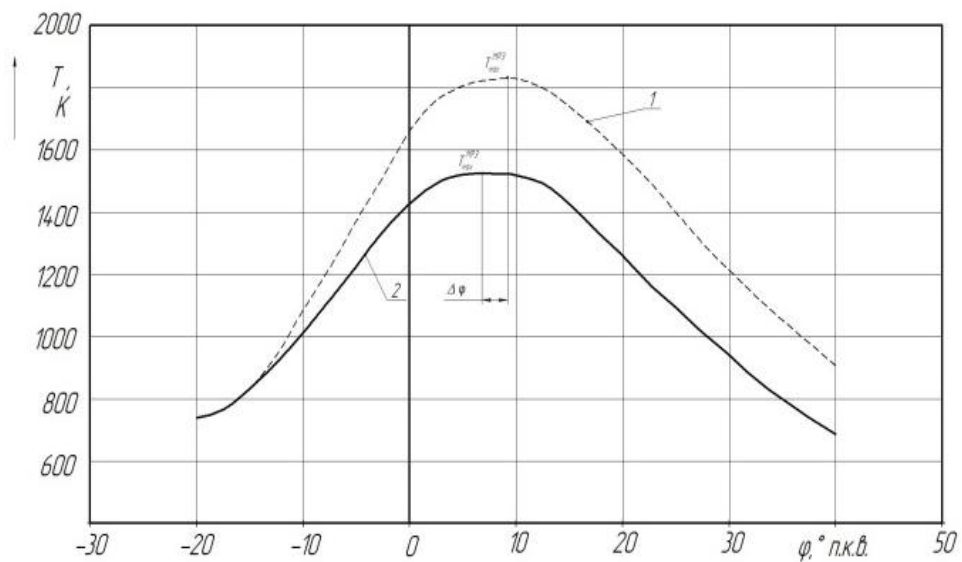


Рисунок 2.2 – Расчетная индикаторная диаграмма в координатах $T - \varphi$ работы дизеля МТА на ДТ и метанола-рапсовой эмульсии (соотношение 30:70).

Анализ расчетных индикаторных диаграмм дизеля показывает увеличение периода задержки воспламенения на $2,5^\circ$ п.к.в., что объясняется меньшей испаряемостью эмульсии, отмечается снижение величины максимального давления с 8,53 МПа до 7,89 МПа, т.е. на 7,5% без смещения по углу п.к.в., выявлено также уменьшение площади индикаторной диаграммы на

5,8% при работе на эмульсии, что является следствием меньшей удельной теплоты сгорания эмульсии по сравнению с ДТ.

При анализе характера протекания индикаторных диаграмм отмечается уменьшение скорости нарастания давления с 0,379 МПа/°п.к.в. до 0,339 МПа/°п.к.в., что составляет 11,7%. Это свидетельствует о уменьшении жесткости процесса сгорания, снижении механических нагрузок на детали двигателя и их износ.

Анализируя диаграммы изменения температуры цикла, следует отметить снижение максимальной температуры цикла с 1845 К до 1652 К, т.е. на 10,5%, что способствует снижению тепловых нагрузок на детали двигателя и увеличению его ресурса, и связано с меньшей удельной теплотой сгорания эмульсии по сравнению с ДТ. Также произошло смещение точки достижения максимальной температуры ближе к ВМТ на 2,5° п.к.в. вследствие более быстрого протекания процесса сгорания, что связано с присутствием метанола, как катализатора горения.

В таблице 2.1 приведены основные расчетные индикаторные и эффективные показатели дизеля Д-242 при работе на метанола-рапсовой эмульсии в сравнении с дизельным топливом.

Из анализа данных таблицы 2.1 следует, что при работе дизельного двигателя МТА на метанола-рапсовой эмульсии с соотношением компонентов 30:70 по сравнению со штатным циклом увеличивается удельный индикаторный расход топлива с 206 г/(кВт·ч) до 265 г/(кВт·ч) (на 28%); среднее эффективное давление снижается с 0,660 МПа до 0,524 МПа (на 20%); эффективная мощность снижается с 47,0 кВт до 37,1 кВт (на 20,1%).

Распределение теплоты, выделяемой при сгорании вводимого в цилиндры двигателя топлива, на полезноиспользуемую и отдельные виды потерь характеризуется внешним тепловым балансом. Характер распределения теплоты по составляющим внешнего теплового баланса определяется особенностями рабочего процесса, а также геометрическими размерами цилиндропоршневой группы, конструкцией деталей и системы охлаждения.

Таблица 2.1 – Результаты теплового расчета

Наименование параметра	Единица измерения	ДТ	Метанола-рапсовая эмульсия				
			10:90	20:80	30:70	40:60	50:50
Теоретически необходимое количество воздуха для полного сгорания одного кг топлива	кг	14,45	13,01	13,18	13,35	13,51	13,68
Удельный индикаторный расход топлива	г/(кВт·ч)	206	261	262	265	276	295
Среднее эффективное давление	МПа	0,660	0,549	0,539	0,524	0,484	0,434
Эффективная мощность	кВт	47,0	39,1	38,4	37,1	34,5	30,9

Внешний тепловой баланс в целом и отдельные составляющие в частности позволяют оценить показатели теплонапряженности деталей двигателя, рассчитать систему охлаждения, определить резервы в использовании теплоты отработавших газов и пути повышения экономичности двигателя.

Целью данного раздела является оценка и сравнительный анализ перераспределения составляющих теплового баланса дизеля МТА при работе на метанола-рапсовой эмульсии.

Для анализа используется уравнение теплового баланса [100, 101]:

$$Q_0 = Q_e + Q_{газ} + Q_{охл} + Q_{ост}, \quad (2.33)$$

где Q_0 – количество теплоты, выделяемое при сгорании топлива, кДж/с; Q_e – количество теплоты, эквивалентное эффективной работе, кДж/с; $Q_{охл}$ – количество теплоты, переданное охлаждающей жидкости, кДж/с; $Q_{газ}$ – количество теплоты, теряемое с отработавшими газами, кДж/с; $Q_{ост}$ – остаточный член теплового баланса, определяющий потери, не учтённые другими составляющими теплового баланса, кДж/с.

Количество теплоты, выделяемое при сгорании топлива за 1 с Q_0 , кДж/с, определяется следующим образом:

$$Q_0 = \frac{1}{3600} (G_{PM} \cdot Q_n^{PM} + G_M \cdot Q_n^M). \quad (2.34)$$

Количество теплоты, эквивалентное эффективной работе определяется по формуле [100, 101]:

$$Q_e = 1000 \cdot N_e. \quad (2.35)$$

Количество теплоты, теряемое с отработавшими газами $Q_{газ}$, кДж/с, находится по выражению [100, 101]:

$$Q_{газ} = \frac{G}{3600} \cdot (M_2 \cdot \bar{\mu}_{CpOG} \cdot T_{OG} - M_1 \cdot \bar{\mu}_{Cp1} \cdot T_1), \quad (2.36)$$

где G – часовой расход топлива, кг/ч; M_2 – общее количество продуктов сгорания, кмоль; $\bar{\mu}_{CpOG}$ – средняя молярная теплоёмкость продуктов сгорания, кДж/(кмоль·К); T_{OG} – температура отработавших газов, К; M_1 – количество свежего заряда, кмоль; $\bar{\mu}_{Cp1}$ – средняя молярная теплоёмкость свежего заряда на впуске, кДж/(кмоль·К); T_1 – температура свежего заряда на впуске, К.

Средняя молярная теплоёмкость продуктов сгорания дизеля $\bar{\mu}_{CpOG}$, кДж/(кмоль·К), находится по формуле [100, 101]:

$$\bar{\mu}_{CpOp} = \left(20,2 + \frac{0,92}{\alpha} \right) + \left(15,5 + \frac{13,8}{\alpha} \right) \cdot 10^{-4} \cdot T_{OG} + R_\mu. \quad (2.37)$$

Средняя молярная теплоёмкость свежего заряда на впуске, кДж/(кмоль·К) [100, 101]:

$$\bar{\mu}_{Cv1} = 20,16 + 1,74 \cdot 10^{-3} \cdot T_1 + R_\mu.$$

Тогда количество теплоты, передаваемое охлаждающей жидкости при работе дизеля $Q_{охл}$, кДж/с, определяется из выражения [100, 101]:

$$Q_{охл} = C \cdot i \cdot D^{1+2m} \cdot n^m (1/\alpha), \quad (2.38)$$

где C – коэффициент пропорциональности ($C=0,45\dots0,53$); i – число цилиндров; D – диаметр цилиндра, см; m – показатель степени ($m = 0,6\dots0,7$); n – частота вращения коленчатого вала, об/мин.

Остаточный член теплового баланса включает в себя теплоту, передаваемую смазочному материалу; теплоту, не выделившуюся в двигателе вследствие неполноты сгорания; теплоту, рассеиваемую в окружающую среду внешними поверхностями двигателя и его агрегатов; а также теплоту, соответствующую кинетической энергии отработанных газов [100, 101].

$$Q_{ост} = Q_0 - (Q_e + Q_{газ} + Q_{охл})$$

Результаты расчёта представлены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Результаты расчёта составляющих теплового баланса

Наименование параметра	Единица измерения	ДТ	Метанола-рапсовая эмульсия
Количество теплоты, эквивалентное эффективной работе, Q_B	кДж/с	46,0	39,9
	%	38,8	38,5
Количество теплоты, передаваемое охлаждающей жидкости, $Q_{охл}$	кДж/с	26,9	21,6
	%	22,7	20,9
Количество теплоты, теряемое с отработавшими газами, $Q_{газ}$	кДж/с	40,4	35,7
	%	34,1	34,5
Остаточный член теплового баланса, $Q_{ост}$	кДж/с	5,3	6,4
	%	4,4	6,1
Количество теплоты, выделяемое при сгорании топлива, Q_0	кДж/с	118,6	103,6
	%	100	100

Анализируя данные таблицы 2.2, необходимо отметить общее уменьшение значений параметров при работе на метано-рапсовой эмульсии по сравнению со штатным циклом. Так, снизилось количество теплоты, выделяемое при сгорании топлива с 118,6 кДж/с до 103,6 кДж/с, то есть на 13%.

Это связано с меньшей по сравнению с дизельным топливом теплотой сгорания эмульсии. Снижение количества теплоты, отдаваемой в систему охлаждения, вызвано уменьшением максимальной температуры цикла и составляет 27%. Этот факт свидетельствует об уменьшении теплонапряженности деталей двигателя, что благотворно влияет на ресурс двигателя. Возрастание величины остаточного члена баланса на 23,4% вызвано увеличением неполноты сгорания эмульсии по сравнению со штатным циклом.

ВЫВОДЫ

1. Модернизирована методика расчета показателей рабочего процесса, индикаторных и эффективных показателей дизеля МТА при работе на метано-рапсовой эмульсии. Предлагаемая методика учитывает изменения качественного состава моторного топлива при использовании метано-рапсовой эмульсии.

2. Результаты расчетов показывают, что с увеличением процентного содержания метанола в метано-рапсовой эмульсии с 10% до 50% величина удельного эффективного расхода топлива возрастает на 11% (с 261 до 295 г/(кВт·ч)). При этом эффективная мощность, снижается на 20% (с 39,1 до 30,9 кВт).

3. Результаты расчетов показывают, что количество теплоты, отдаваемой в систему охлаждения снижается на 27%, что вызвано уменьшением максимальной температуры цикла. Этот факт свидетельствует об уменьшении теплонапряженности деталей двигателя, что благотворно влияет на ресурс двигателя.

3 МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1 Общая методика

Целью проведения экспериментальных исследований является оценка влияния подачи метанола-рапсовой эмульсии в качестве топлива на параметры рабочего цикла, эффективные, экономические и экологические показатели работы дизеля Д-242, входящего в конструкцию МТА.

Сущность предлагаемого способа работы дизеля МТА заключается в подаче метанола-рапсовой эмульсии в качестве топлива, в результате чего происходит замещение дизельного топлива экологически чистым альтернативным топливом, ресурсы которого возобновляемы и практически не ограничены. Сравнительные лабораторно-стендовые испытания предусматривают несколько этапов.

Проведение безмоторных исследований, направленных на оптимизацию количественного и качественного состава метанола-рапсовой эмульсии с целью получения максимально стабильной по времени эмульсии. Способом достижения поставленных целей является подбор оптимального количества эмульгатора, в качестве которого выступает алкенилсукцинимид. Методика проведения этих лабораторных исследований предусматривает изменение количества эмульгатора в составе метанола-рапсовой эмульсии.

Проведение стендовых испытаний топливоподающей аппаратуры дизеля МТА при работе на метанола-рапсовой эмульсии, направленных на проверку и оптимизацию регулировочных характеристик топливного насоса высокого давления. Способом достижения поставленных целей является испытания топливного насоса высокого давления на стенде КИ-921М, переоборудованным для работы с метанола-рапсовой эмульсией. Методика проведения этих стендовых исследований предусматривает проверку цикловой подачи топливного насоса высокого давления при работе на метанола-рапсовой эмульсии.

Сравнительные лабораторно-стендовые испытания предусматривают проведение исследований при работе дизеля на дизельном топливе (штатный цикл) и на метанола-рапсовой эмульсии на номинальном режиме и режиме частичных нагрузок. Методика проведения экспериментальных исследований предусматривает изменение количественного соотношения компонентов метанола-рапсовой эмульсии.

При проведении экспериментальных исследований показатели работы дизеля определяются в соответствии с требованиями ГОСТ 18509-88 «Дизели тракторные и комбайновые. Методы стендовых испытаний». В процессе экспериментальных исследований производится измерение температуры воздуха на впуске; расхода топлива; расход воздуха; частоты вращения коленчатого вала дизеля; крутящего момента двигателя; температуры и токсичности отработавших газов; осуществляется запись индикаторных диаграмм; контролируется температурный режим работы дизеля и давление в системе смазки.

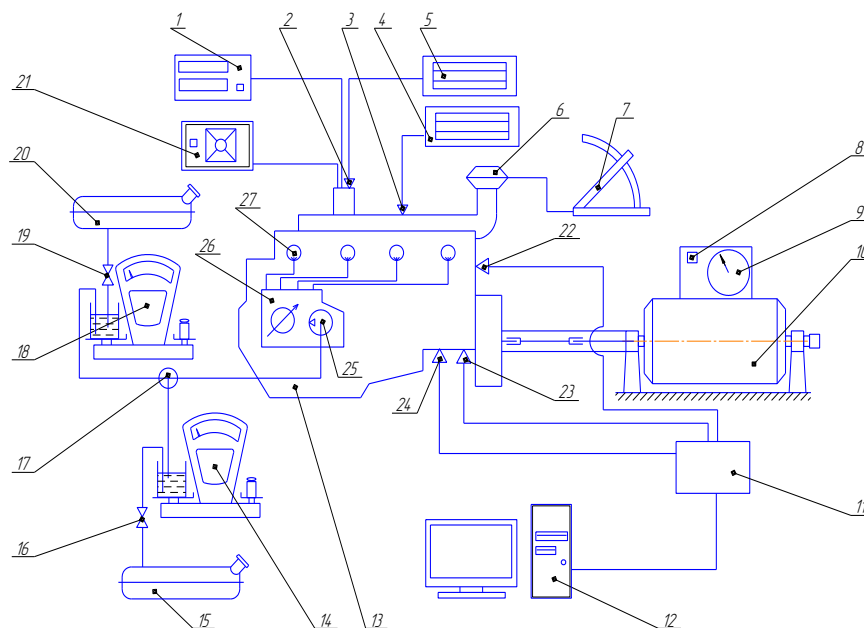
Для проведения экспериментальных исследований в лаборатории испытаний автотракторных двигателей кафедры «Тракторы и автомобили» Тверской ГСХА сформирована экспериментальная установка.

Экспериментальная установка (рисунок 3.1) включает в себя обкаточно-тормозной стенд КИ-5985П (зав. №2601), дизель Д-242 (зав. №24258), комплекс контрольно-измерительных и регистрирующих приборов, устройство для подачи и замера расхода метанола-рапсовой эмульсии. Приборы, применяемые в эксперименте прошли поверку в соответствии с Приказом Министерства промышленности и торговли Российской Федерации от 2 июля 2015 года N 1815 «Об утверждении Порядка проведения поверки средств измерений, требования к знаку поверки и содержанию свидетельства о поверке».

Устройство для подачи и замера расхода метанола-рапсовой эмульсии состоит из емкости для эмульсии, весов и трехходового переключателя, соединенных трубопроводами.

Определение расхода метанола-рапсовой эмульсии производится весовым способом.

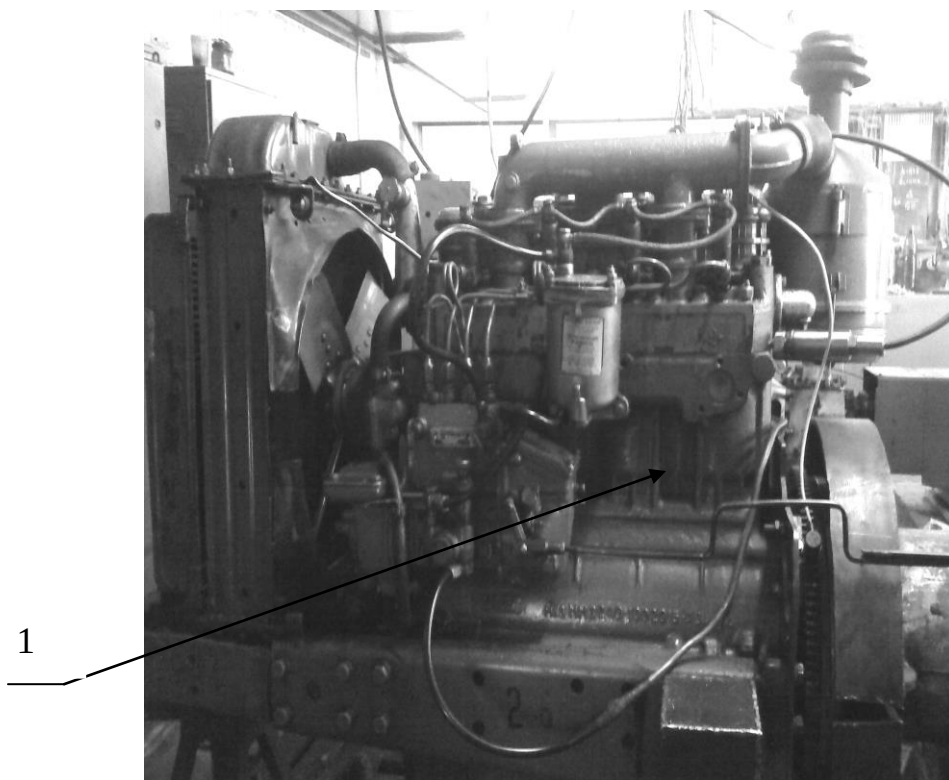
Методика проведения экспериментальных исследований позволяет с достаточной точностью определить влияние использования метанола-рапсовой эмульсии в качестве топлива на показатели работы дизеля Д-242 (рисунок 3.2) и его рабочий цикл.



1 - газоанализатор «АВТОТЕСТ»; 2 - датчик температуры отработавших газов; 3 - датчик температуры воздуха на впуске; 4 - потенциометр КСП-4; 5 - потенциометр КСП-4; 6 - измерительный насадок; 7 - микроманометр; 8 - преобразователь считывания момента; 9 - динамометр; 10 - обкаточно-тормозной стенд КИ-5343М; 11 - аналого-цифровой преобразователь «SIGMA»; 12 - компьютер; 13 - двигатель Д-242; 14 - устройство для замера расхода дизельного топлива; 15 - емкость для дизельного топлива; 16 - кран; 17 - трехходовой кран переключения; 18 - устройство для замера расхода МРЭ; 19 - кран; 20 - емкость для МРЭ; 21 - дымомер «ИНФРАКАР»; 22 - датчик давления ДДГ - 160/600; 23 - датчик положения коленчатого вала; 24 - датчик ВМТ; 25 - подкачивающий насос; 26 - ТНВД; 27 - форсунка.

Рисунок 3.1 – Схема экспериментальной установки.

При проведении экспериментальных исследований используется дизельное топливо Л – 0,2 – 45 ГОСТ 305 – 82, моторное масло М – 10 Г_{2К} ГОСТ 17479.1 – 85, рекомендованные для данного типа дизелей и взятые из одной партии.



1 – переоборудованный дизель Д-242.

Рисунок 3.2 – Общий вид экспериментального двигателя.

3.2 Методика безмоторных исследований

Основной задачей проведения безмоторных испытаний является исследование возможности создания и применения, стабильных метанола-рапсовых эмульсий (МРЭ) в качестве топлива для дизельного двигателя, а также их физических свойств.

В основу методики исследования положен сравнительный метод.

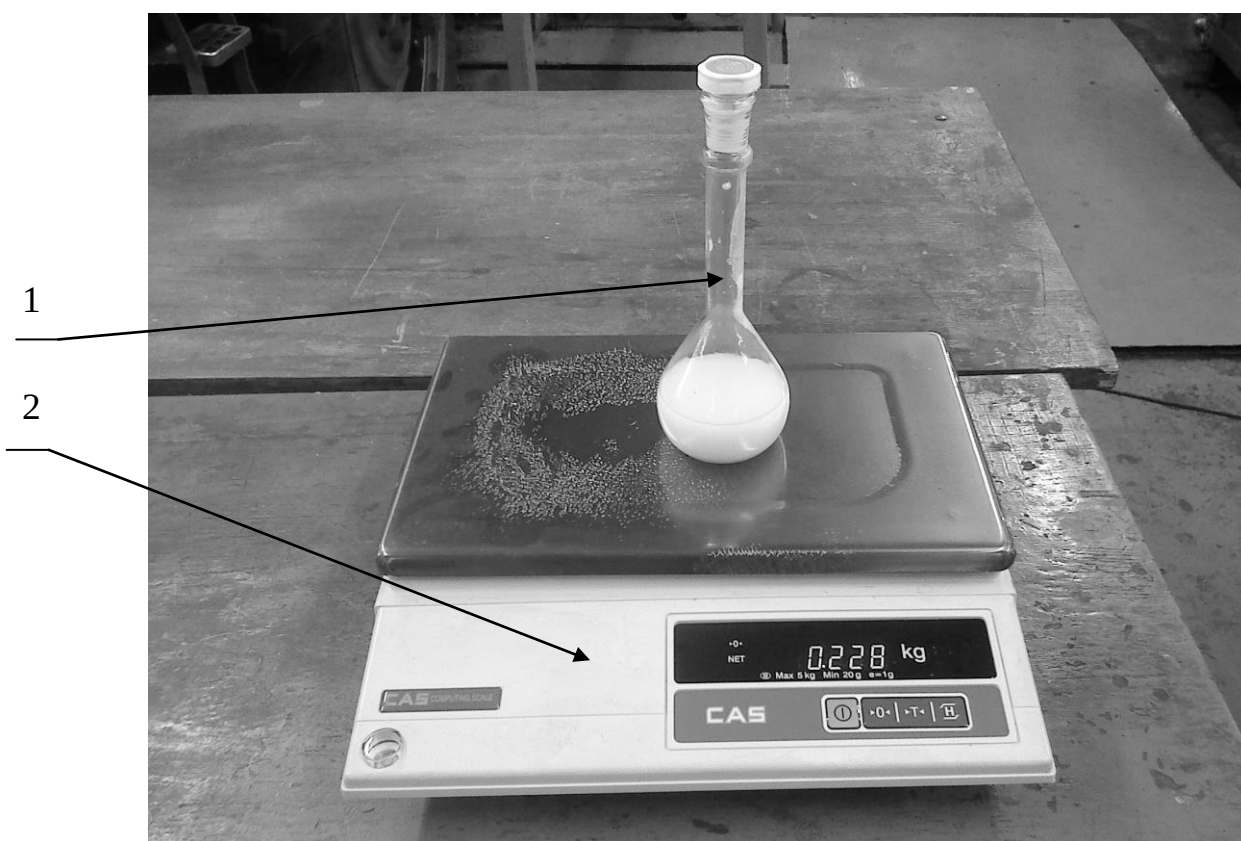
Целями исследований являются:

- достижение максимально стабильного состава МРЭ;

- разработка состава МРЭ, максимально близкого по физическим свойствам к дизельному топливу (в частности по вязкости).

Компонентами МРЭ являются рапсовое масло (ГОСТ 8988-2002) и метанол технический (ГОСТ 2222-95). В качестве эмульгатора используется алкенилсукцинимид.

Компоненты для приготовления эмульсии предварительно навешиваются на электронных весах модели AD-1 зав. №080732802 (рисунок 3.3). Масса исследуемой пробы МРЭ составляет 100 г. Процентное соотношение ингредиентов эмульсии выражается в массовых долях от массы всей пробы.



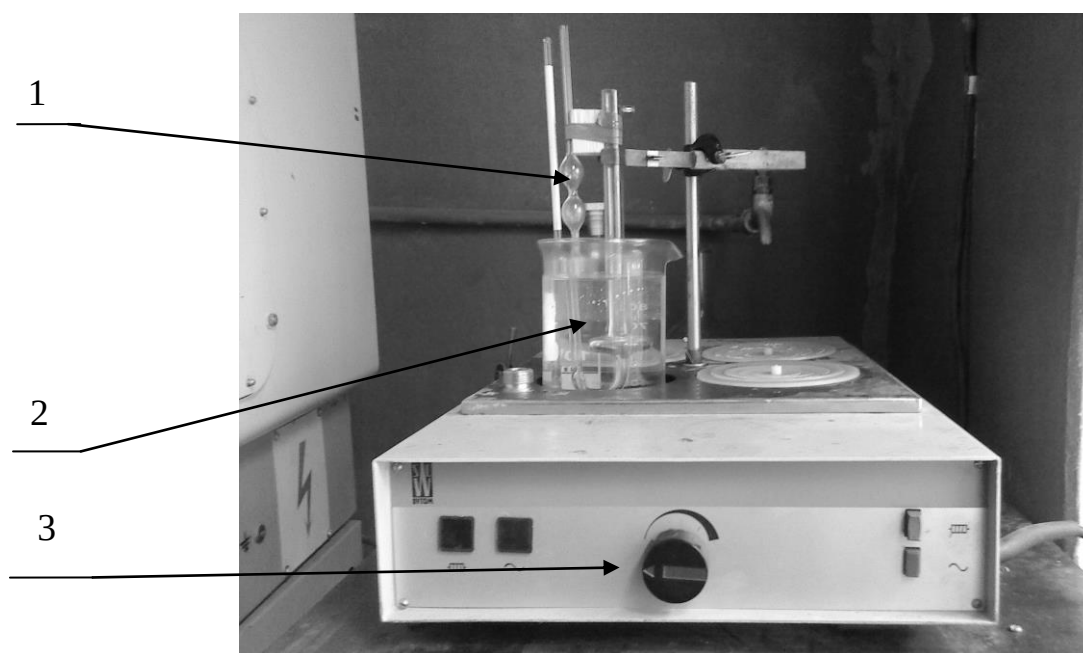
1 – пробирка с пробой эмульсии; 2 – электронные весы AD-1.

Рисунок 3.3 – Взвешивание компонентов эмульсии.

Эмульсия готовится с помощью гомогенизатора не менее двух минут. Полученная проба эмульсии переливается в градуированную пробирку, после чего производятся наблюдения за ее стабильностью.

За критерий стабильности принимается время до появления визуально наблюдаемых изменений (осадка или отстоя) в пробе эмульсии – время начала седиментации. По полученным данным строятся изотермы стабильности МРЭ.

Для изучаемых проб по ГОСТ 33-2000 (ISO 3104-94) определяется вязкость эмульсий при использовании вискозиметров ВПЖ-4 (№4913 и №2793) (рисунок 3.4).



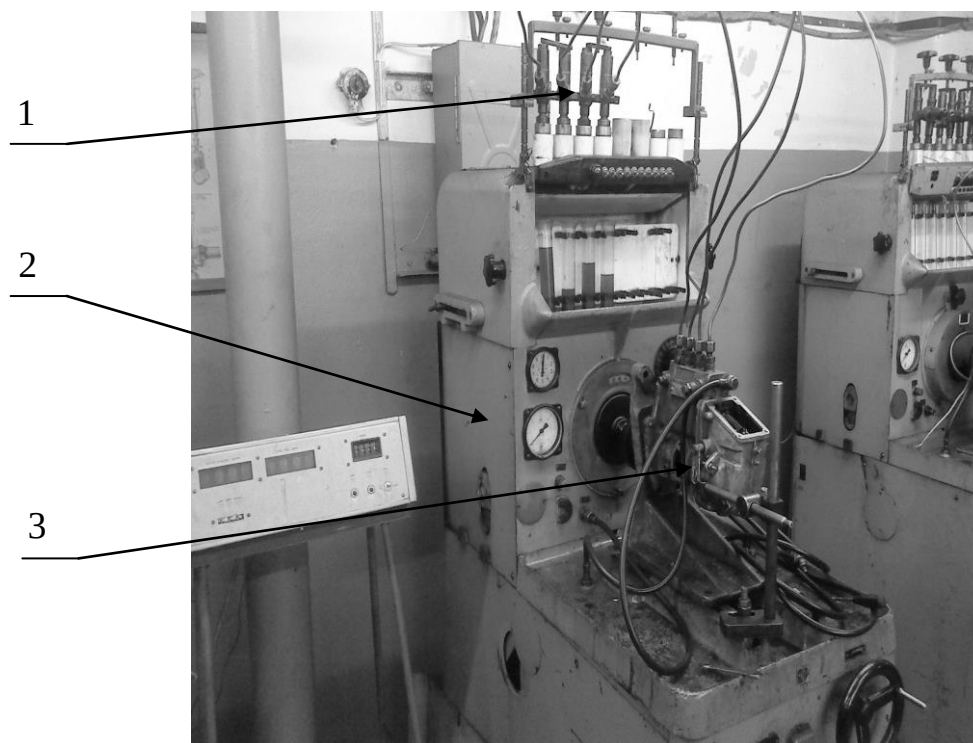
1 – вискозиметр; 2 – емкость с водой; 3 – подогреватель.

Рисунок 3.4 – Установка для измерения вязкости МРЭ.

3.3 Методика проведения стендовых испытаний топливоподающей аппаратуры дизеля машинно-тракторного агрегата при работе на метанола-рапсовой эмульсии

Основной задачей испытаний является проверка и оптимизация регулировочных характеристик топливного насоса высокого давления.

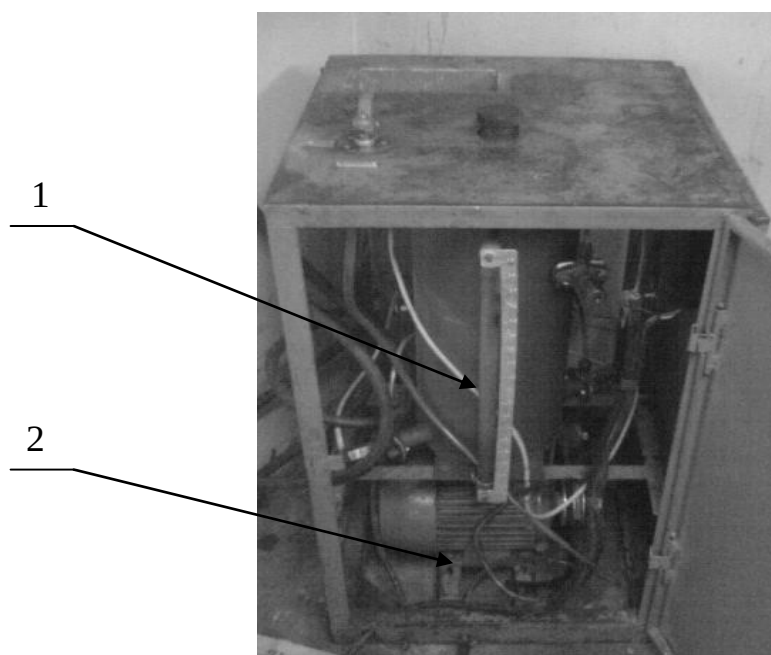
Проверка топливного насоса высокого давления производится с помощью стенда КИ-921М переоборудованного для работы на метанола-рапсовой эмульсии (рисунок 3.5) [103].



1 – форсунки; 2 – стенд КИ-921М; 3 – ТНВД.

Рисунок 3.5 – Общий вид стенда КИ-921М.

Приготовление метанола-рапсовой эмульсии производится с помощью гомогенизирующей установки (рисунок 3.6).



1 – емкость для компонентов эмульсии; 2 – привод установки.

Рисунок 3.6 – Общий вид гомогенизирующей установки.

3.4 Методика исследования параметров свежего заряда

Целью исследований является сравнительный анализ параметров свежего заряда при работе дизеля МТА при работе на дизельном топливе и на метанола-рапсовой эмульсии.

Для этого проводится измерение температуры, давления и влажности свежего заряда на впуске в цилиндр и расход воздуха [16, 17].

Измерение температуры воздуха окружающей среды производится при помощи ртутного термометра. Давление окружающей среды измеряется барометром М 110.

Расход воздуха определяется с использованием измерительного насадка, установленного на впускной трубе воздухоочистителя (рисунок 3.7) и микроманометра МН – 240.



1 – измерительный насадок; 2 – корпус воздушного фильтра.

Рисунок 3.7 – Установка измерительного насадка.

Часовой расход воздуха определяется по выражению [104]:

$$G_{\text{воз}} = 3,6 \cdot 10^3 \cdot A' \cdot F \cdot \sqrt{\Delta h \cdot \rho_B}, \quad (3.1)$$

где $G_{\text{воз}}$ – часовой расход воздуха, кг/ч; A – постоянная измерительного насадка; F – площадь сечения насадка в месте измерения давлений, м²; Δh – перепад давлений, мм вод ст.

$$\Delta h = a \cdot K_M, \quad (3.2)$$

где a – число делений шкалы, на которое поднимается уровень жидкости в наклонной рубке микроманометра; K_M – постоянная микроманометра;

$$K_M = \rho_{\text{ж}} \cdot \sin \beta, \quad (3.3)$$

где $\rho_{\text{ж}}$ – плотность применяемой жидкости, кг/ч; β – угол наклона трубки микроманометра; ρ – плотность окружающего воздуха, кг/м³;

Плотность окружающего воздуха находится по уравнению Менделеева – Клайперона:

$$\rho = \frac{p_0}{RT_0}, \quad (3.4)$$

где p_0 – атмосферное давление, Па; R – газовая постоянная воздуха, $R = 287$ Дж/(кг·К); T_0 – температура окружающего воздуха, К.

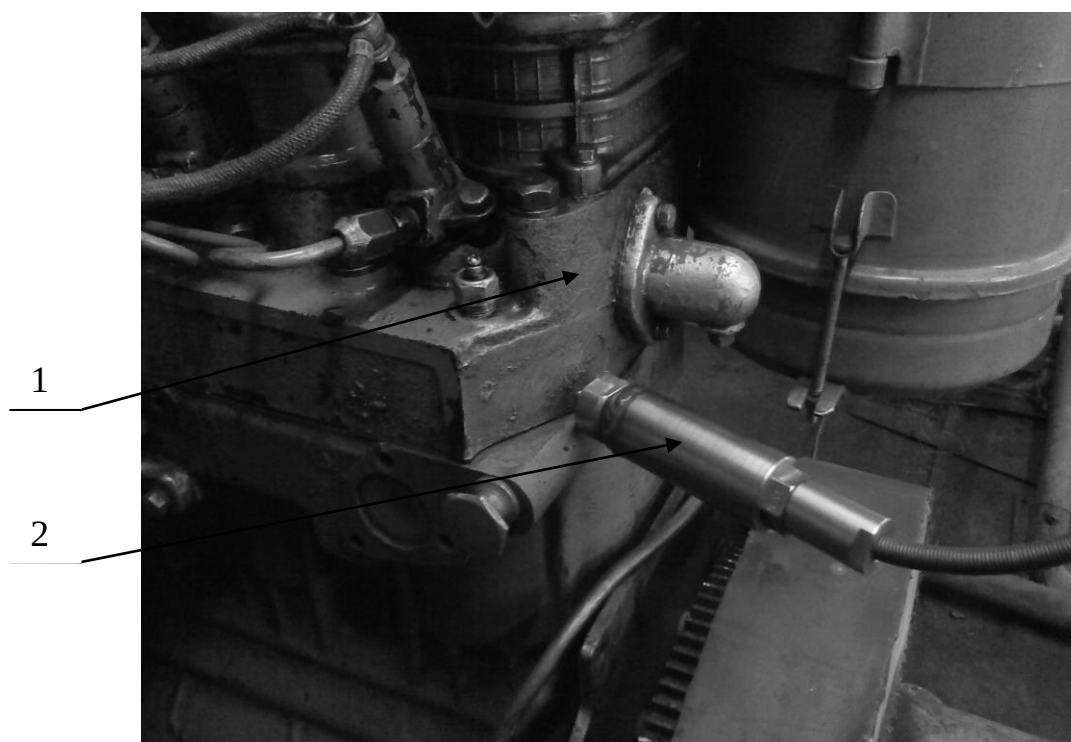
3.5 Методика индицирования двигателя

Целью данных исследований является сравнительный анализ показателей рабочего процесса дизеля МТА при работе на дизельном топливе и на метано-рапсовой эмульсии.

В ходе эксперимента производится запись диаграмм давления газов в цилиндре двигателя, отметки зубьев маховика для определения положения коленчатого вала и отметки положения ВМТ индицируемого цилиндра согласно ГОСТ 18509-88.

Измерение давления в цилиндре производится с использованием тензометрического датчика ДДГ-160/600 (рисунок 3.8), установленного через переходник в головке цилиндров. Для синхронизации индикаторной диаграммы

с углом поворота коленчатого вала используется индукционный датчик, считывающий положение маховика двигателя.



1 – головка блока цилиндров; 2 - тензометрический датчик ДДГ-160/600.

Рисунок 3.8 – Установка датчика давления в камере сгорания.



1 - индукционный датчик положения коленчатого вала; 2 – маховик.

Рисунок 3.9 – Установка датчика положения коленчатого вала.

Сигналы всех указанных датчиков выводятся на модуль АЦП-ЦАП 16/16 «Sigma USB», подключенный к ЭВМ.

После снятия индикаторной диаграммы, полученные аналоговые данные оцифровывались в координатах давление-время с помощью аналого-цифрового преобразователя (АЦП) фирмы ZET и передавались в программу EXCEL.

Дальнейшие обработки индикаторных диаграмм ведутся по стандартным методикам.

3.6 Методика исследования температуры и токсичности отработавших газов

Целью данных исследований является определение содержания токсичных компонентов в отработавших газах и сравнительный анализ теплонапряженности деталей двигателя при работе дизеля на дизельном топливе и на метано-рапсовой эмульсии.

Определение содержания токсичных компонентов в отработавших газах производится микропроцессорным газоанализатором «АВТОТЕСТ – 02 CO – CO₂ – CH – O₂ – NO_x – λ – T» согласно ГОСТ Р 52033-2003.

Газоанализатор «АВТОТЕСТ – 02» предназначен для одновременного определения содержания оксида углерода, диоксида углерода, углеводородов, кислорода, оксидов азота, а также частоты вращения коленчатого вала и вычисления λ – параметра в отработавших газах двигателей внутреннего сгорания [106].

Принцип действия прибора основан на измерении величины поглощения инфракрасного излучения источника молекулами углеводородов, диоксида углерода и оксида углерода в областях 3,4; 4,25; и 4,7 мкм соответственно. Концентрация кислорода определяется электрохимическим методом. Концентрация оксидов азота определяется на основе электрохимической ячейки 3NF/F Nitric Oxide.

Проба отработавшего газа отбирается из выхлопной трубы дизеля Д -242. Далее проба газа по трубке поступает в фильтр для очистки от частиц сажи. Затем по трубке доставки проба газа направляется к газоанализатору. Технические характеристики прибора представлены в таблице 3.1

Таблица 3.1 – Технические характеристики газоанализатора «АВТОТЕСТ»

Измеряемый компонент	Диапазон измерения % (ppm)	Цена деления	Участок диапазона измерения	Основная погрешность	
				Абсолютная	Относительная от ВПИ*
Углеводороды	0-5000 ppm	10 ppm	0÷1000 ppm	± 50 ppm	--
			1000÷5000 ppm	--	± 5 %
Оксид углерода	0÷10%	0,01 %	0÷5 %	± 0,25 %	--
			5÷10 %	--	± 5 %
Диоксид углерода	0÷25 %	0,1 %	0÷10 %	± 0,5 %	--
			10÷25 %	--	± 5 %
Кислород	0÷25 %	0,1 %	0÷10 %	± 0,5 %	--
			10÷25 %	--	± 5 %
Оксиды азота	0-5000 ppm	10 ppm	0÷1000 ppm	± 50 ppm	--
			1000÷5000 ppm	--	± 5 %
λ – параметр	0,5-2,00	0,001	-	Не нормируется	
Частота вращения (об/мин)	100-5000	10	100-5000	± 25	--
	5000-10000	100	5000-10000	--	± 2 %
* ВПИ – верхний предел измерения.					

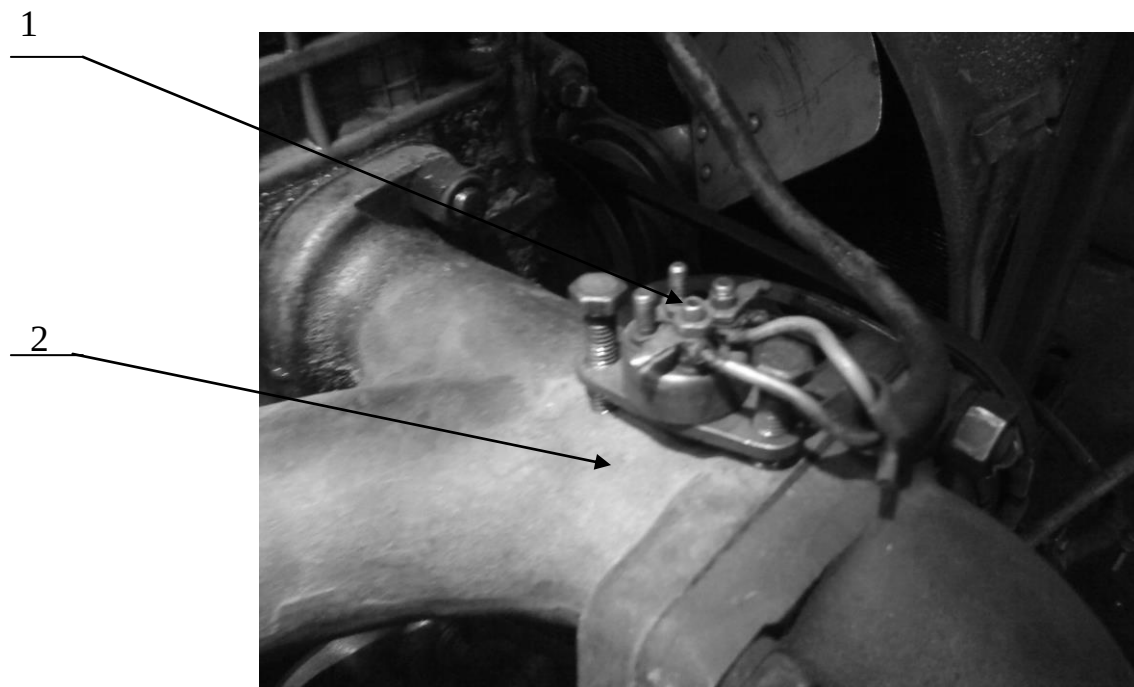
Дымность отработавших газов замерялась с помощью дымомера ИНФРАКАР-Д согласно ГОСТ Р 52160-2003.

При проведении испытаний измеряется температура отработавших газов в выпускном коллекторе, характеризующая теплонапряжённость деталей двигателя. Для этого используется термопара ТХК – 0806 (заводской № 625 – 32, предел измерений 0...600 0С) в комплекте с электронным термометром Ш 4501 (заводской № 9124699, класс точности 0,5, предел измерений 0...800 0С). Установка датчика температуры отработавших газов показана на рисунке 3.10.

Таблица 3.2 – Технические характеристики дымомера “ИНФРАКАР-Д”

Показатель	Обозначение	Един. измерения	Значение
Эффективная оптическая база	L	м	0,43
Натуральный показатель ослабления светового потока	K	м ⁻¹	0 - ∞
Предел допускаемой абсолютной погрешности	Δ	м ⁻¹	+/-0,05
Коэффициент ослабления светового потока	N	%	0-100
Предел допускаемой основной приведенной погрешности	Δ	%	+/- 1
Время прогрева рабочей камеры	t	мин.	не более 10
Время срабатывания	t	сек.	не более 1,5
Напряжение питания	U	В	12/220
Температура окружающего воздуха	t	°С	0 - 35

По результатам исследований анализируются зависимости содержания токсичных компонентов в отработавших газах и их температуры газов от регулировочных параметров подачи метанола на впуске.



1 – термопара ТХК – 0806, 2 – выпускной коллектор.

Рисунок 3.10 – Установка датчика температуры отработавших газов.

3.7 Методика исследования эффективных показателей

Целью данных исследований является сравнительный анализ эффективных показателей при работе дизеля МТА на дизельном топливе и на метано-рапсовой эмульсии.

При проведении исследований согласно ГОСТ 18509-88 используется измерительная аппаратура обкаточно-тормозного стенда КИ – 5985П, предназначенная для определения частоты вращения коленчатого вала и крутящего момента при стендовых испытаниях дизелей. В комплект аппаратуры входят датчик частоты вращения, электронный тахометр, весоизмерительный механизм. Среднее эффективное давление [104]:

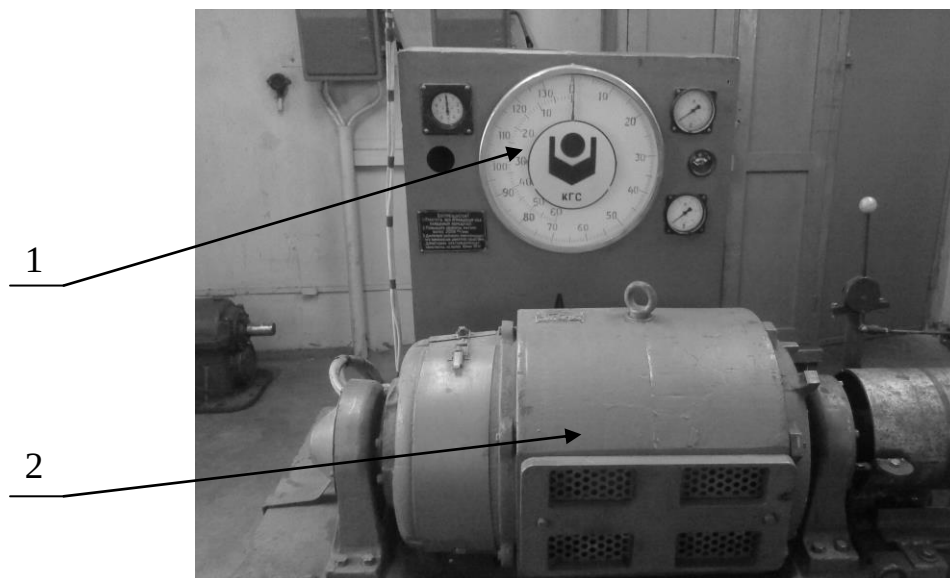
$$P_e = \frac{3,14 \cdot 10^3 \cdot \tau_{дв} \cdot M_K}{i \cdot V_h}, \quad (3.6)$$

где $\tau_{дв}$ - тактность двигателя; M_K - эффективный крутящий момент, Н·м; i - число цилиндров; V_h - рабочий объем цилиндра, л.

Эффективная мощность определяется по выражению [98]:

$$N_e = \frac{M_K \cdot n}{9550}, \quad (3.7)$$

где N_e - эффективная мощность, кВт; n - частота вращения коленчатого вала, мин⁻¹.



1 – указатель величины тормозного момента; 2 – электрический тормоз.

Рисунок 3.11 – Устройство для измерения тормозного момента.

Часовой расход топлива измеряется весовым методом [98]:

$$G_T = \frac{3,6 \cdot \Delta G_T}{\tau_T}, \quad (3.8)$$

где G_T - часовой расход топлива, кг/ч; ΔG_T - масса навески топлива, г; τ_T - время расхода навески топлива, с.

Удельный эффективный расход топлива находится по выражению [98]:

$$g_e = \frac{10^3 G_T}{N_e}, \quad (3.9)$$

где g_e - удельный эффективный расход топлива, г/(кВт·ч).

Коэффициент избытка воздуха α [98]:

$$\alpha = \frac{G_B}{14,3 \cdot G_T} . \quad (3.10)$$

По результатам исследований анализируются зависимости изменения основных эффективных показателей работы дизеля при работе на метанола-рапсовой эмульсии от количественного и качественного состава метанола-рапсовой эмульсии и регулировочных параметров топливной аппаратуры.

3.8 Методика исследования эксплуатационных показателей

Исследования трактора Беларус 572 в составе машинно-тракторного агрегата осуществлялись на вспашке опытных загонок на полях в ОАО «Зверохозяйство Мелковское» Конаковского района Тверской области согласно ГОСТ 25836-83 «Тракторы. Виды и программы испытаний».

Оценка эксплуатационных показателей тракторного агрегата, работающего на метанола-рапсовой эмульсии, проводилась путем их сравнения с показателями трактора, работающего на стандартном дизельном топливе.

За оценочные показатели пахотного агрегата были приняты рабочая скорость трактора, погектарный расход топлива и производительность агрегата [112,113, 114,115].

Для определения погектарного расхода топлива трактор агрегатировался с трехкорпусным плугом ПЛН-3-35 (рисунок 3.12) на вспашке с глубиной обработки 20-22 см и удельным сопротивлением супесчаной почвы среднего механического состава 34-39 кПа.

Площадь опытных площадок определялась саженью и визуально отмечалась вешками. Объем израсходованного моторного топлива определялся с помощью объемного расходомера, установленного снаружи трактора.

Рабочая скорость агрегата рассчитывалась по выражению [113]:

$$V_{РАБ} = 3,6 \frac{\Delta L}{\Delta t}, \quad (3.11)$$

где ΔL - длина рабочего хода, м; Δt - время расходования навески топлива, с.



1 – трактор Беларусь 572; 2 – плуг ПЛН-3-35.

Рисунок 3.12 – Машинно-тракторный агрегат на вспашке.

Сменная производительность машинно-тракторного агрегата определялась по формуле [112, 113]:

$$W_{CM} = 0,1 \cdot B_p \cdot V_{РАБ} \cdot T_{CM} \cdot K_{CM}, \quad (3.12)$$

где B_p - рабочая ширина захвата агрегата, м; T_{CM} - время смены, ч; K_{CM} - коэффициент использования времени смены

$$K_{CM} = \frac{T_p}{T_{CM}}, \quad (3.13)$$

где T_p - время чистой работы машинно-тракторного агрегата, час.

$$T_p = T_{CM} - T_x - T_o, \quad (3.14)$$

где T_x - время холостых ходов машинно-тракторного агрегата (переезды, повороты); T_o - время остановок машинно-тракторного агрегата в загоне для технического, технологического обслуживания, личных надобностей тракториста и т.п.

Погектарный расход топлива определялся по формуле [112, 113]

$$g_{ГА} = \frac{G_T \cdot T_p + 0,28 \cdot G_T \cdot T_x + 0,14 \cdot G_T \cdot T_o}{W_{CM}}. \quad (3.15)$$

3.9 Обработка результатов и погрешности измерений

При проведении экспериментальных исследований осуществляется одновременная запись большинства контролируемых параметров, что позволяет повысить объективность получаемой информации.

При многократных замерах вероятное значение измеряемой величины $\bar{x}$ определяется как средняя арифметическая величина из всех выполненных отдельных измерений одного и того же численного значения физической величины:

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^n x_i / n, \quad (3.14)$$

где $\sum_{i=1}^n x_i$ - сумма величин, получаемых при измерении; n - количество измерений.

Среднеквадратичное отклонение σ :

$$\sigma = \pm \sqrt{\sum_{i=1}^n \Delta x_i^2 / (n-1)}, \quad (3.15)$$

где $\sum_{i=1}^n \Delta x_i^2$ - сумма квадратов отклонений результатов отдельных измерений от их среднего арифметического значения.

Пригодность экспериментальных данных определяется по величине отклонения результатов исследований от средней арифметической величины, которая не должна превышать 3σ .

Величины предельных и относительных ошибок однократных измерений приведены в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Предельные и относительные ошибки однократных измерений

Наименование измеряемого параметра		Тип прибора	Абсолютная погрешность	Относительная погрешность, %.
Крутящий момент, M_k		КИ-5985П ГОСНИТИ	$\pm 5 \text{ Н} \cdot \text{м}$	0,2
Частота вращения, n		-	$\pm 10 \text{ мин}^{-1}$	0,5
Масса навески топлива, ΔG_T		Весы РН – 10Ц13У	$\pm 5 \text{ г}$	1,5
Время расхода навески топлива, τ_T		Электронный секундомер	$\pm 0,1 \text{ с}$	0,05
Масса навески МРЭ, ΔG_B		Весы РН – 10Ц13У	$\pm 10 \text{ г}$	1,5
Время расхода навески МРЭ, τ_B		Электронный секундомер	$\pm 1 \text{ с}$	0,05
Расход воздуха, $G_{\text{воз}}$		Микроманометр МН – 240 + измерительный насадок	$\pm 5 \text{ кг/ч}$	1,0
Температура отработавших газов, $t_{\text{ог}}$		ТХК – 0806 + Ш4501	$\pm 10 \text{ }^{\circ}\text{C}$	1,0
Содержание токсичных компонентов	NO_x	Газоанализатор «АВТОТЕСТ»	$\pm 50 \text{ ppm}$	5
	CO_2		$\pm 0,25 \text{ \%}$	5
	CH		$\pm 50 \text{ ppm}$	5

Ошибки параметров, определяемых расчётным путём, могут быть определены по выражениям [104].

Погрешность в определении эффективной мощности ε_{Ne} :

$$\varepsilon_{Ne} = \sqrt{\varepsilon_{Mk}^2 + \varepsilon_n^2} = \sqrt{0,5^2 + 0,2^2} = 0,6\%, \quad (3.13)$$

Погрешность в определении часовых расходов МРЭ и топлива ε_{Gt} :

$$\varepsilon_{Gm} = \sqrt{\varepsilon_{\Delta Gm}^2 + \varepsilon_{\tau}^2} = \sqrt{1,5^2 + 0,05^2} = 1,51\%, \quad (3.14)$$

Погрешность в определении удельного эффективного расхода топлива ε_{ge} :

$$\varepsilon_{ge} = \sqrt{\varepsilon_{Ne}^2 + \varepsilon_{Gm}^2} = \sqrt{0,6^2 + 1,51^2} = 1,64\%, \quad (3.15)$$

Принятая методика экспериментальных исследований даёт возможность получить достоверные результаты.

ВЫВОДЫ

1. Разработана общая программа проведения экспериментальных исследований, содержащая лабораторные исследования по определению физическо-механических свойств метано-рапсовой эмульсии; стендовых испытания топливоподающей аппаратуры дизеля Д-242, входящего в конструкцию МТА, при работе на метано-рапсовой эмульсии; сравнительные моторные исследования дизеля МТА при работе на стандартном дизельном топливе и метано-рапсовой эмульсии; эксплуатационные исследования МТА при работе на стандартном дизельном топливе и метано-рапсовой эмульсии.

2. Разработана методика проведения лабораторных исследований по определению физическо-механических свойств метано-рапсовой эмульсии. В качестве оценочных показателей были приняты вязкость и время стабильности метано-рапсовой эмульсии.

3. Разработана методика проведения стендовых испытаний топливоподающей аппаратуры дизеля МТА при работе на метано-рапсовой

эмульсии. В качестве оценочных показателей были приняты цикловая подача и производительность секции топливного насоса высокого давления.

4. Разработана методика проведения моторных исследований дизеля МТА при работе на стандартном дизельном топливе и метанола-рапсовой эмульсии. В качестве оценочных показателей были приняты часовой расход топлива; удельный эффективный расход топлива; крутящий момент; эффективной мощности, токсичности отработавших газов и давление в камере сгорания дизеля.

5. Разработана методика проведения эксплуатационных исследований МТА на вспашке при работе на стандартном дизельном топливе и метанола-рапсовой эмульсии. В качестве оценочных показателей были приняты погектарный расход топлива, производительность агрегата и погектарные затраты на топливо.

4 РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

4.1 Результаты исследований физико-механических свойств метанола-рапсовой эмульсии

Основной задачей является исследование возможности создания и применения стабильных эмульсий в качестве топлива для дизельного двигателя и их физических свойств.

Способом создания стабильной эмульсии является подбор оптимального количества эмульгатора, в качестве которого выступает алкенидсукцинимид. Методика проведения лабораторных исследований предусматривает изменение количества эмульгатора в составе эмульсии.

Влияние концентраций эмульгатора на стабильность эмульсии показано на рисунке 4.1.

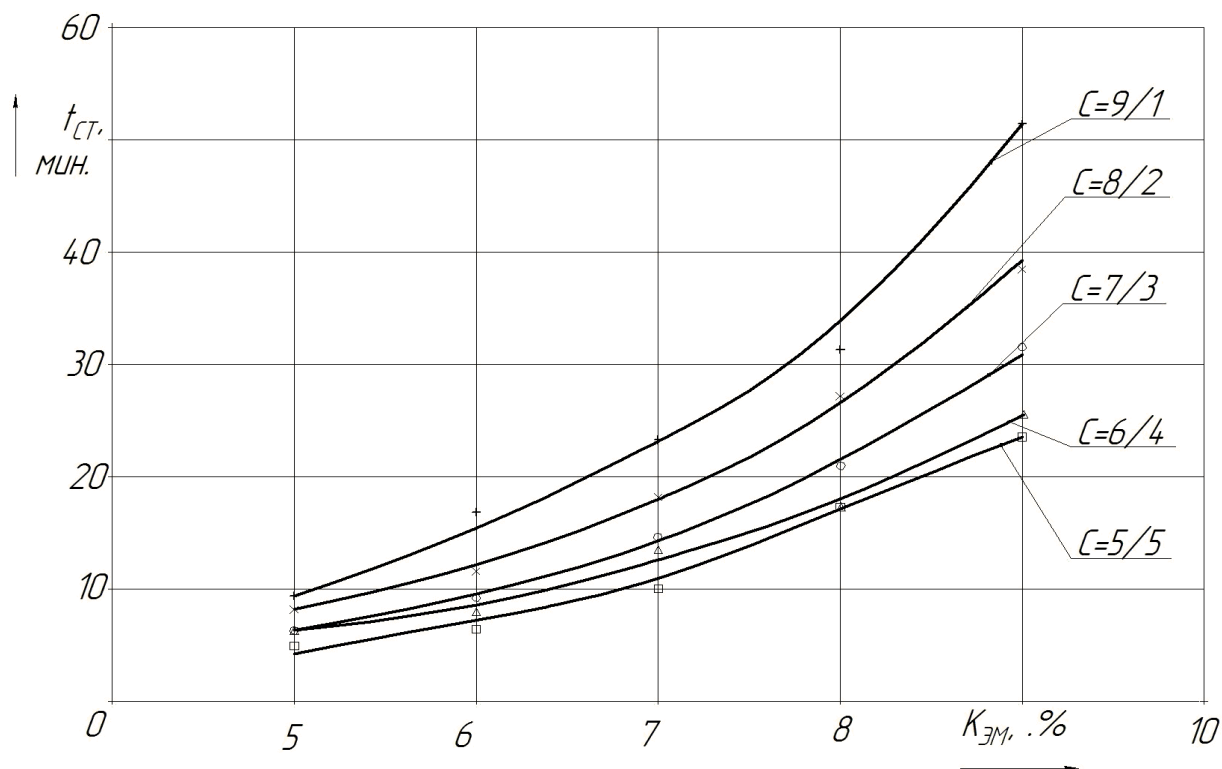


Рисунок 4.1 - Влияние концентраций эмульгатора на стабильность эмульсии.

По результатам экспериментальных исследований физико-механических свойств МРЭ определена вязкость эмульсии при различном содержании метанола и рапсового масла. Влияние концентраций эмульгатора на вязкость эмульсии показано в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Влияние содержания метанола и концентрации эмульгатора на вязкость МРЭ

Концентрация метанола, %	Концентрация эмульгатора, %	Вязкость МРЭ, сСт
10	5	11,84
	6	11,56
	7	11,26
	8	11,10
	9	11,04
20	5	8,83
	6	8,23
	7	7,97
	8	7,85
	9	7,62
30	5	6,45
	6	6,21
	7	6,18
	8	5,99
	9	5,79
40	5	-
	6	-
	7	-
	8	3,06
	9	2,98

Представлены методика и результаты планирования полного трехфакторного эксперимента по определению качественного и количественного состава метанола-рапсовой эмульсии. Методика проведения предусматривает определение количества эмульгатора, содержание метанола в составе эмульсии и кратность ее гомогенизации для получения максимального времени стабильности эмульсии. В рамках планирования эксперимента производится расчет плана эксперимента по выбранным изменяемым

показателям, определяются коэффициенты уравнения математической модели, проводится статистическая оценка адекватности математической модели, строятся диаграммы изолиний с возможностью выявления точки экстремума. Рассматриваемый эксперимент определен как полный трехфакторный эксперимент [107].

В качестве входных факторов приняты: концентрация эмульгатора – X_1 , кратность гомогенизирования – X_2 , концентрация метанола в составе эмульсии – X_3 .

В расчете факторного плана значения уровней входных факторов принимаются в кодированном виде, при этом, основной уровень (центр плана) каждого фактора обозначается как «0», а нижний и верхний уровни: «-1» и «+1» соответственно (таблица 4.2).

Таблица 4.2 - Факторы и интервалы их варьирования

№	Нижний уровень (-1)	Основной уровень (0)	Верхний уровень (+1)	Интервал варьирования	Наименование фактора
X_1 :	5	7	9	2	Эмульгатор, %
X_2 :	1	2	3	1	Кратность
X_3 :	10	30	50	20	Метанол, %

Для определения воспроизводимости измерений выходного параметра Y , в качестве которого выбрано время стабильности метанола-рапсовой эмульсии, проведены параллельные измерения. Согласно плану эксперимента рассчитано десять опытов по два параллельных испытания в каждом. Выходные параметры, наименование выходного параметра и количество параллельных замеров представлены в таблице 4.3.

Таблица 4.3 - План эксперимента и выходные параметры опытов

Номер опыта (u)	Матрица планирования			Натуральные значения переменных			Выходной параметр (время стабильности, с)	
	X ₁	X ₂	X ₃	эмульгатор	кратность	метанол	Y (u, 1)	Y (u, 2)
1	-1	-1	-1	5	1	10	9	7
2	+1	-1	-1	9	1	10	54	48
3	-1	+1	-1	5	3	10	12	11
4	-1	-1	+1	5	1	50	4	6
5	-1	0,19	0,19	5	2,19	33,8	11	12
6	0,19	-1	0,19	7,38	1	33,8	19	19
7	0,19	0,19	-1	7,38	2,19	10	28	22
8	-0,29	+1	+1	6,42	3	50	10	12
9	+1	-0,29	+1	9	1,71	50	25	23
10	+1	+1	-0,29	9	3	24,2	44	37

После проверки введенных данных рассчитываются коэффициенты математической модели (таблица 4.4), и выводится функция отклика.

Таблица 4.4 - Коэффициенты уравнения математической модели

b ₀	b ₁	b ₂	b ₃	b ₁₁	b ₁₂	b ₁₃	b ₂₂	b ₂₃	b ₃₃
17,391	13,481	0,8	-6,068	7,082	-2,169	-5,81	0,836	1,206	-2,331

Уравнение математической модели:

$$Y = 17,391 + 13,481 \cdot X_1 + 0,8 \cdot X_2 + (-6,068) \cdot X_3 + 7,082 \cdot X_1^2 + 0,836 \cdot X_2^2 + (-2,331) \cdot X_3^2 + (-2,169) \cdot X_1 \cdot X_2 + (-5,81) \cdot X_1 \cdot X_3 + 1,206 \cdot X_2 \cdot X_3. \quad (4.1)$$

После получения математической модели проверялась значимость коэффициентов модели. Проверка коэффициентов на значимость производится с помощью критерия Стьюдента (t-критерия), представленного в таблицах 4.5 и 4.6.

Таблица 4.5 – Табличные значения критерия Стьюдента

Показатель	Значение
Дисперсия воспроизводимости в параллельных опытах:	6,95
Число степеней свободы:	10
Табличное значение критерия Стьюдента:	2,23

Таблица 4.6 - Критерии Стьюдента и значимость коэффициентов модели

	b_0	b_1	b_2	b_3	b_{11}	b_{12}	b_{13}	b_{22}	b_{23}	b_{33}
t- критерий	7,081	12,824	0,761	5,772	3,486	1,731	4,636	0,411	0,962	1,147
Значимость	1	1	0	1	1	0	1	0	0	0

Проверка адекватности математической модели производится по критерию Фишера. Определены необходимые показатели для оценки адекватности модели (таблица 4.7).

Таблица 4.7 – Критерий Фишера и показатели адекватности модели

Показатель	Значение
Дисперсия адекватности математической модели	23,076
Число степеней свободы при значимых коэффициентах	5
Табличное значение критерия Фишера	3,33
Расчетное значение критерия Фишера	3,32

По критерию Фишера уравнение математической модели является адекватным. Модель применима для решения производственно-рецептурных задач. В качестве постоянного фактора с точки зрения технологического процесса приготовления эмульсии принята кратность гомогенизации: $X_2 = 3$.

Преобразованное уравнение математической модели с учетом постоянного фактора:

$$Y = 17,391 + 13,481 \cdot X_1 + 0,8 + (-6,068) \cdot X_3 + 7,082 \cdot X_1^2 + 0,836 + (-2,331) \cdot X_3^2 + (-2,169) \cdot X_1 + (-5,81) \cdot X_1 \cdot X_3 + 1,206 \cdot X_3. \quad (4.2)$$

На основе полученной математической модели построена диаграмма изолиний в координатах X_1 и X_3 (рисунок 4.2).

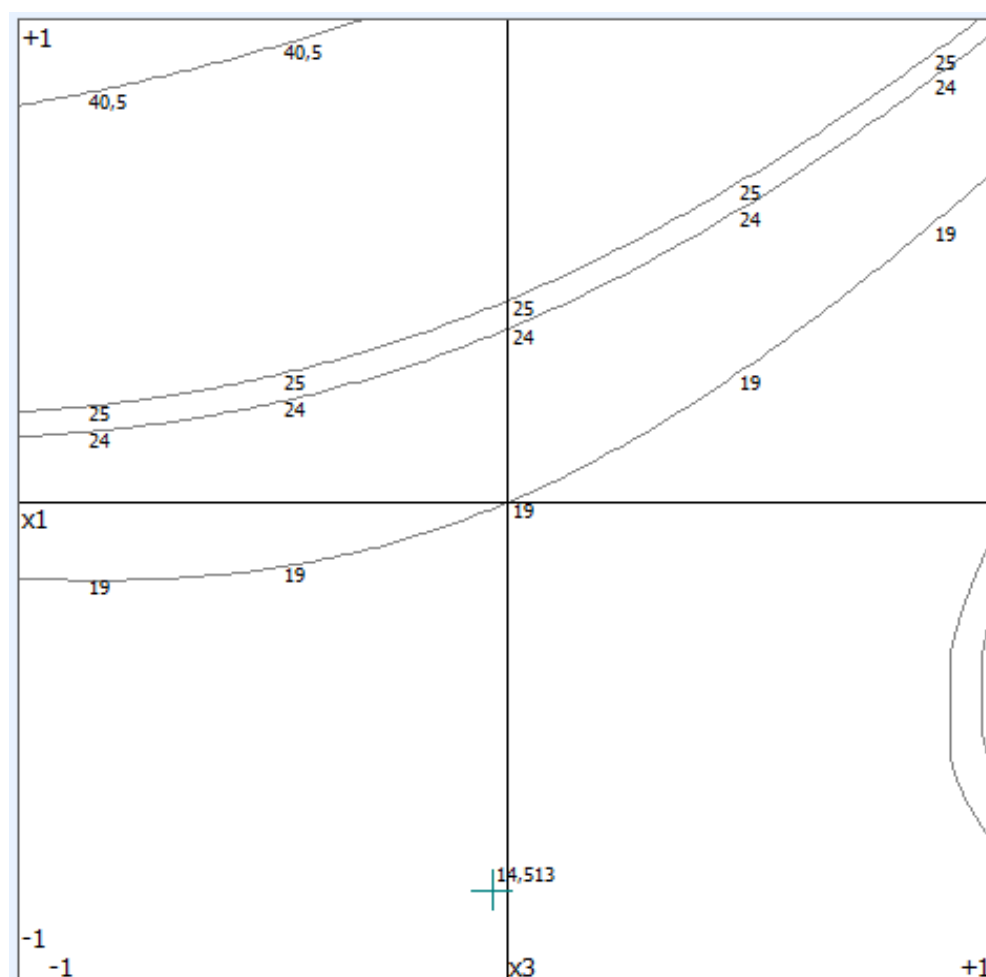


Рисунок 4.2 – Диаграмма линий равного уровня в координатах X_1 и X_3 .

Диаграмма изолиний позволяет получать координаты факторного поля и значения выходного параметра.

Обработка данных планируемого эксперимента завершается определением наличия экстремума функции отклика. Экстремум функции отклика полученной математической модели находится в пределах варьирования переменных факторов, и, значение экстремума составляет $Y_{opt} = 14,513$. Экстремуму функции отклика соответствуют значения факторов: $X_1 = 5,376$ и $X_3 = 29,38$ при $X_2 = \text{const} = 3$.

Исходя из полученных результатов максимально приближенным к свойствам стандартного дизельного топлива является состав эмульсии в композиции: метанол 27% масс., эмульгатор – 6 % масс. Данный состав обладает вязкостью 5,79 сСт, соответствующую вязкости летнего дизельного топлива по ГОСТ 305-82 (3-6 сСт) и имеет приемлемую стабильность готового продукта, равную 13 минутам. На данной композиции проведены дальнейшие испытания.

4.2 Результаты безмоторных испытаний ТНВД

Целью данных исследований является проведение стендовых испытаний топливоподающей аппаратуры дизеля Д-242, входящего в конструкцию МТА, при работе на МРЭ, направленных на оптимизацию регулировочных характеристик дизельной топливной аппаратуры.

В соответствии с целями исследований проведены испытания топливного насоса высокого давления 4УТН-М на стенде КИ-921М, переоборудованным для работы с МРЭ. Методика проведения данных стендовых исследований предусматривает проверку и сравнение цикловой подачи топливного насоса высокого давления при работе на ДТ и эмульсии в условиях регуляторной и скоростной характеристик [108].

В ходе испытаний снята регуляторная и скоростная характеристики ТНВД при работе на дизельном топливе и метаноле – рапсовой эмульсии, (рисунок 4.3 и 4.4).

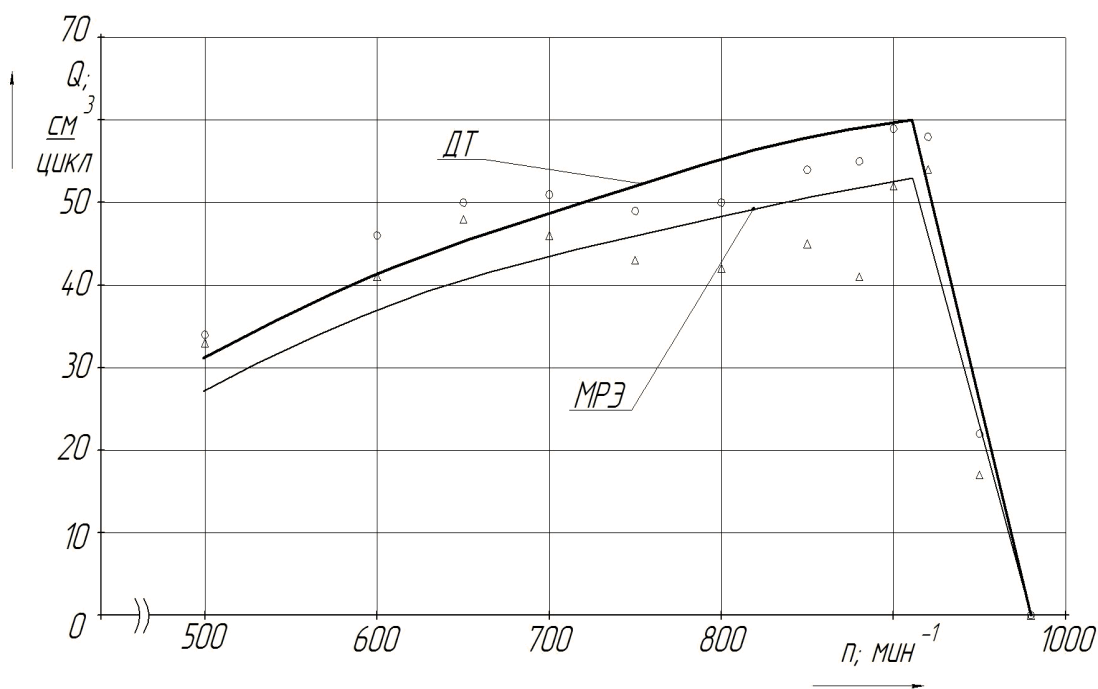
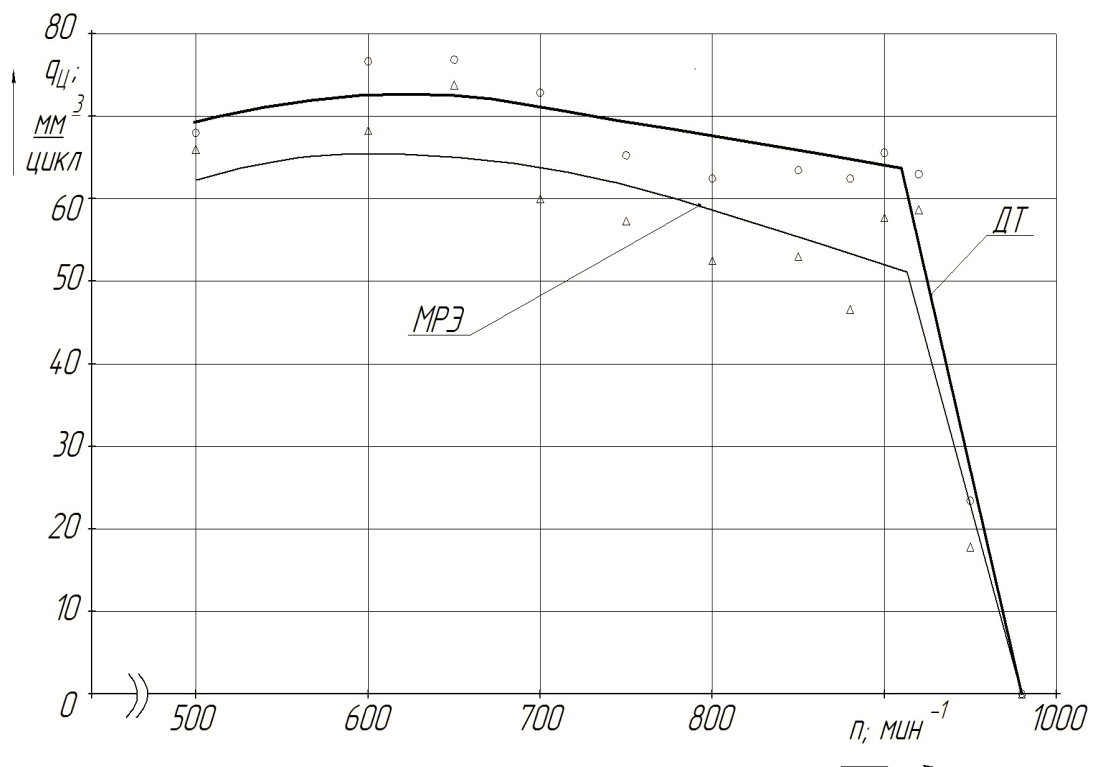


Рисунок 4.3 – Регуляторные характеристики ТНВД 4УТН-М.

При анализе регуляторных характеристик ТНВД 4УТН-М на ДТ и на МРЭ отмечается аналогичность характера протекания кривых и снижение величины цикловой подачи на номинальной частоте вращения на 6,8%, что связано с большей вязкостью эмульсии.

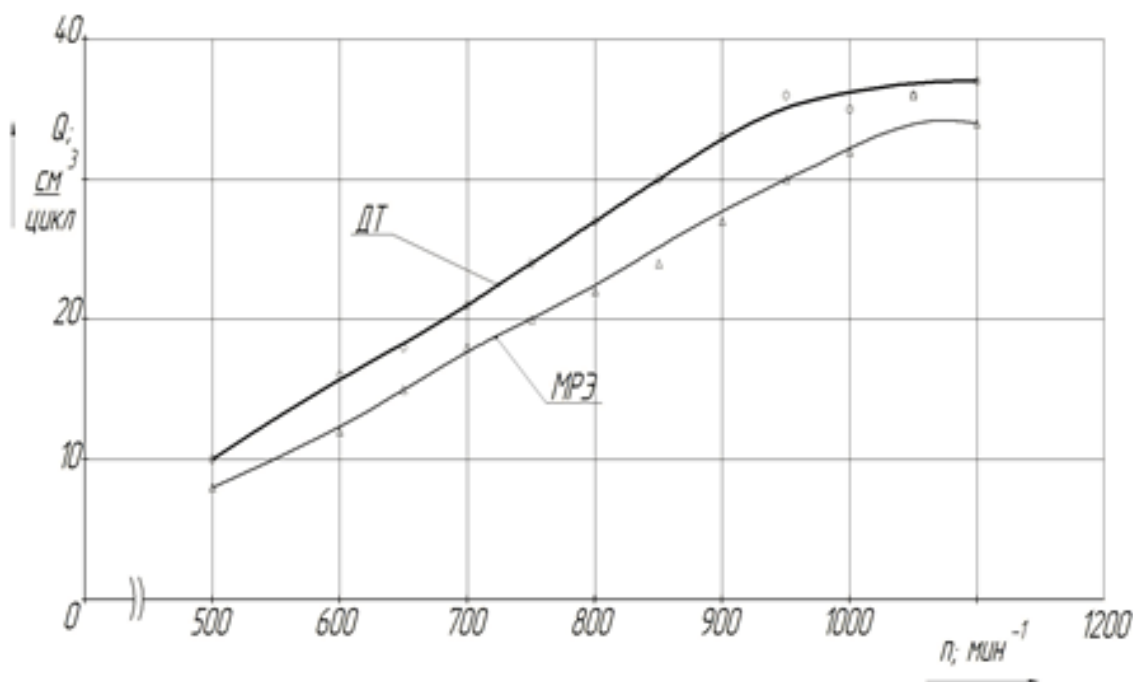
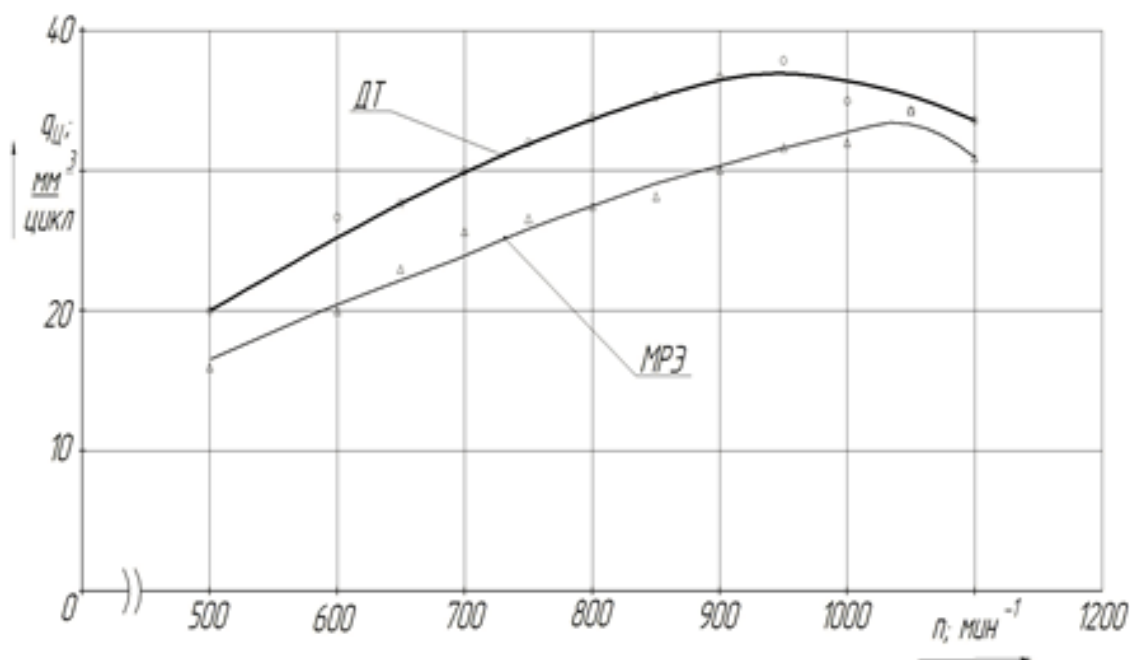


Рисунок 4.4 - Скоростные характеристики ТНВД 4УТН-М.

Установлена аналогичность характера зависимостей и снижение величины цикловой подачи с $59 \text{ см}^3/\text{цикл}$ до $55 \text{ см}^3/\text{цикл}$ (на 6,8%) на дизельном топливе и на метано-рапсовой эмульсии на номинальной частоте вращения в условиях регуляторной характеристики. Определено уменьшение цикловой подачи с $30 \text{ см}^3/\text{цикл}$ до $24,5 \text{ см}^3/\text{цикл}$ (на 18,3%) при работе на метано-рапсовой эмульсии по сравнению с характеристикой, снятой на дизельном топливе в условиях скоростной характеристики.

4.3 Результаты моторных исследований

Главной целью эксперимента является получение показателей рабочего процесса дизеля МТА при работе на дизельном топливе и на метано-рапсовой эмульсии.

В ходе эксперимента записаны значения давления газов в цилиндре при работе на ДТ и МРЭ, на основании которых построены сравнительные индикаторные диаграммы (рисунок 4.5).

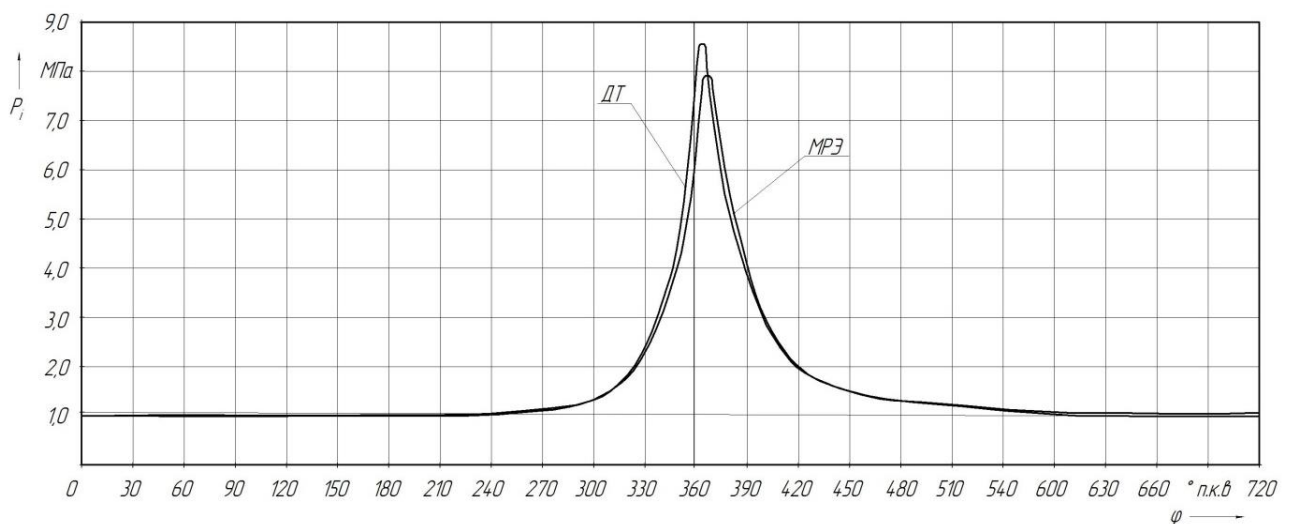


Рисунок 4.5 – Экспериментальные индикаторные диаграммы.

Анализ индикаторных диаграмм дизеля показывает снижение величины максимального давления с 8,53 МПа до 7,89 МПа, то есть на 7,5%, выявлено

также уменьшение площади индикаторной диаграммы на 5,8% при работе на эмульсии, что является следствием меньшей удельной теплоты сгорания эмульсии по сравнению с ДТ.

Так же получены эффективные показатели, по результатам которых построена регуляторная характеристика дизеля МТА (рисунок 4.6).

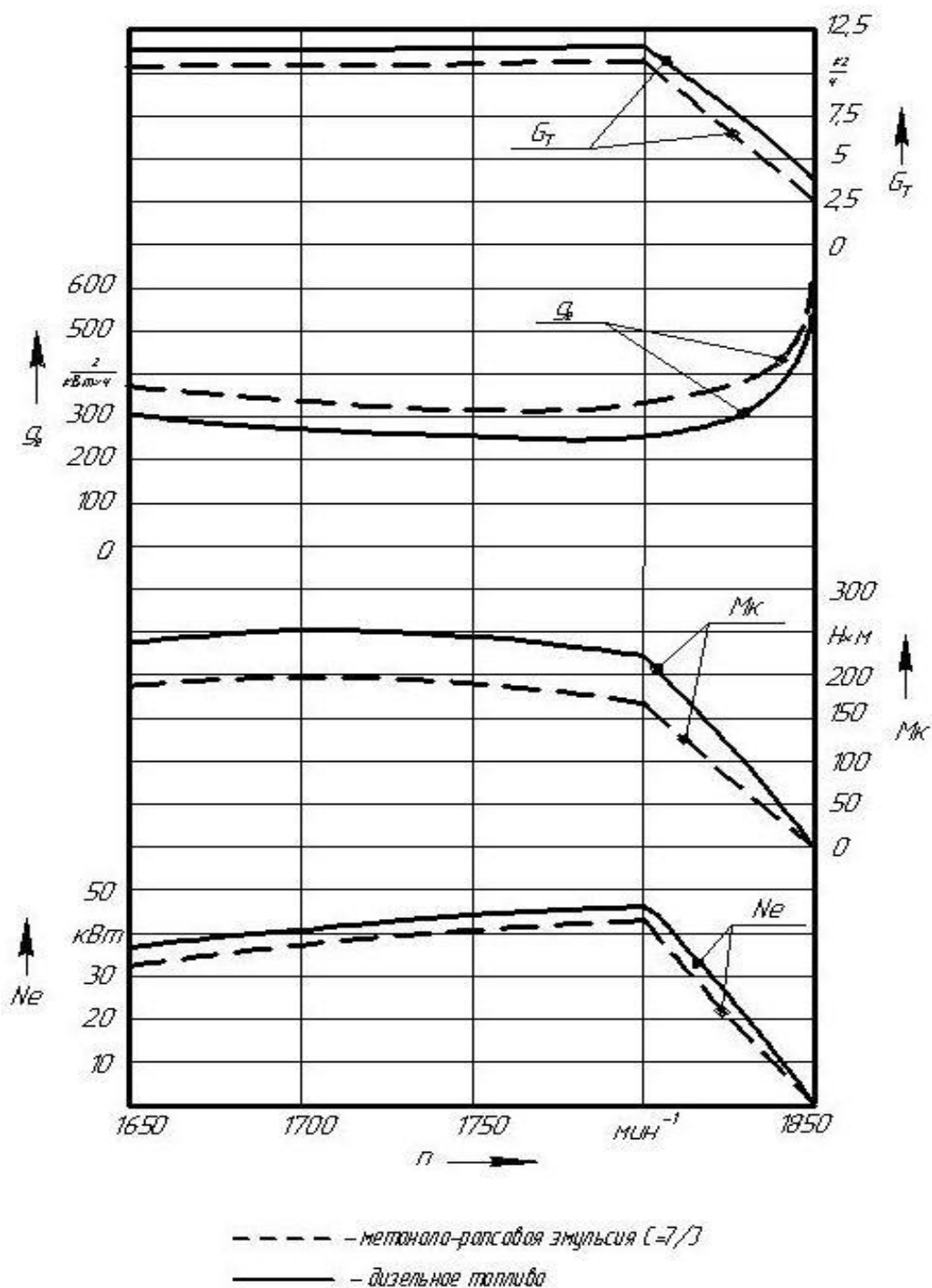


Рисунок 4.6 – Регуляторная характеристика дизеля МТА.

Анализируя экспериментальные данные, следует отметить, что на номинальном режиме эффективная мощность при работе на метано-рапсовой эмульсии уменьшилась с 48 кВт до 43 кВт (на 11%). Удельный эффективный расход увеличился с 260 г/кВт·ч до 320 г/кВт·ч (на 18 %). Ухудшение показателей связано с уменьшением часового расхода топлива с 12 кг/ч до 10,5 кг/ч (на 12,5%) вследствие большей вязкости и меньшей теплотворной способностью метано-рапсовой эмульсии по сравнению с ДТ.

По экологическим показателям работы дизеля, которые получены в ходе эксперимента, построены сравнительные графики (рисунок 4.7).

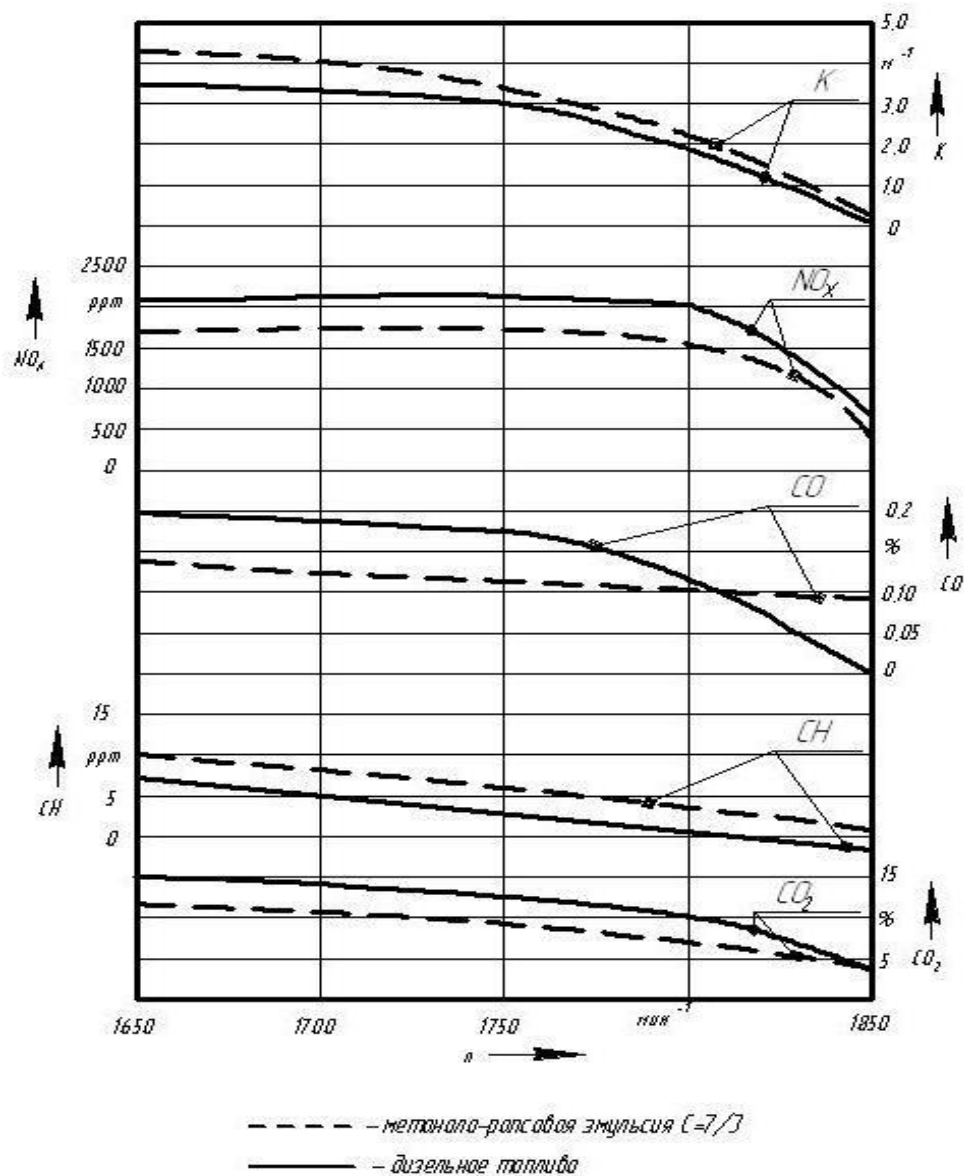


Рисунок 4.7 - Экологические показатели работы дизеля МТА.

Анализ результатов исследований показал, что при использовании метанола-рапсовой эмульсии в качестве топлива экологические показатели в целом улучшились. Так, на номинальном режиме содержание CO_2 в отработавших газах уменьшилась с 10 % до 7 % при увеличении концентрации углеводородов CH с 0 до 4 ppm. Содержание CO при работе на метанола-рапсовой эмульсии составляет 0,09 %, что на 40% ниже, чем при работе на ДТ (0,15%). Концентрация NO_x при использовании ДТ составляет более 2000 ppm, а содержание NO_x при работе на эмульсии - 1500 ppm. Наименьший показатель дымности (1,9м-1) соответствует использованию ДТ, а при использовании метанола-рапсовой эмульсии показатель дымности (К) составил 2,2 м⁻¹.

4.4 Результаты эксплуатационных исследований

Эксплуатационные показатели трактора с дизелем Д-242 при работе в составе пахотного агрегата (Беларус 572 + ПЛН 3-35) показывают увеличение погектарного расхода топлива (рисунок 4.8) с 17,92 кг/га (на стандартном ДТ до 19,14 кг/га (на метанола-рапсовой эмульсии).

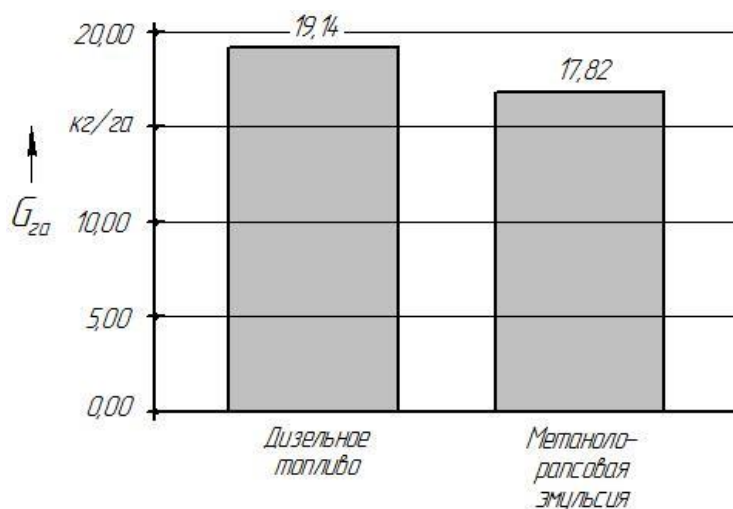


Рисунок 4.8 – Погектарный расход топлива.

Производительность за час чистой работы тракторного агрегата при работе на метанола-рапсовой эмульсии (рисунок 4.9) снижается до 1,01 га/ч с

1,03 га/ч при работе на стандартном ДТ. Параметры вспашки: рабочая скорость движения на основных операциях, - 9 км/ч, ширина захвата плуга - 1,05 м; глубина пахоты - 20 см, тип почвы – супесчаная.

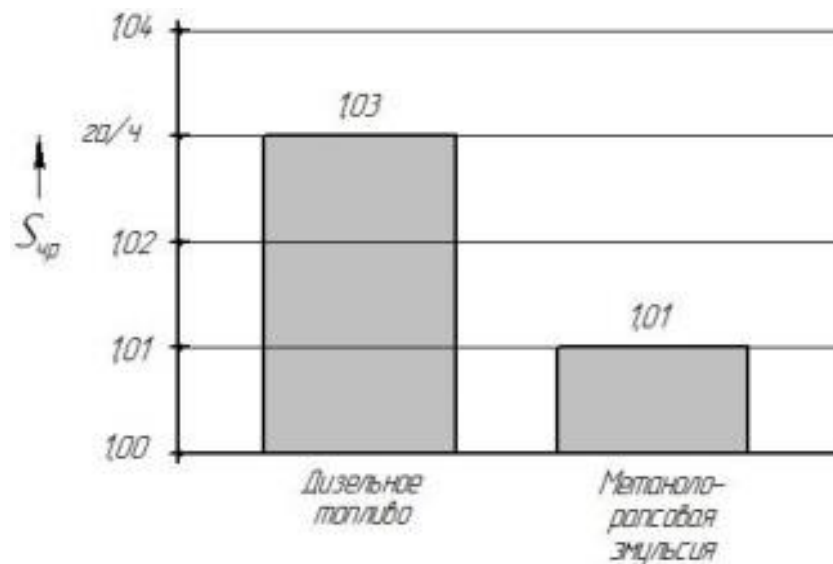


Рисунок 4.9 – Производительность за час чистой работы.

Погектарные затраты на топливо (рисунок 4.10) снижаются с 227,6 руб./га при работе на стандартном ДТ до 223,9 руб./га – на метанола-рапсовой эмульсии.

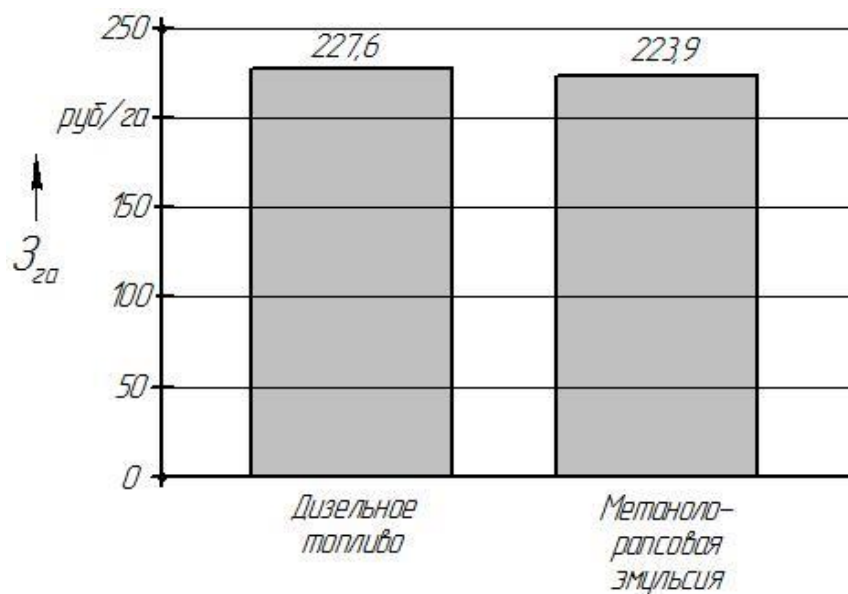


Рисунок 4.10 - Погектарные затраты на топливо.

ВЫВОДЫ

1. Экспериментально определены физико-механические свойства метанола-рапсовой эмульсии: вязкость и время стабильности. Максимально приближенным к свойствам стандартного ДТ является состав эмульсии в композиции: метанол 27% масс., эмульгатор – 6 % масс. Установлена аналогичность характера зависимостей и снижение величины цикловой подачи топливного насоса высокого давления на 6,8% на ДТ и на метанола-рапсовой эмульсии на номинальной частоте вращения в условиях регуляторной характеристики. Определено уменьшение цикловой подачи на 18,3% при работе на метанола-рапсовой эмульсии по сравнению с характеристикой, снятой на ДТ в условиях скоростной характеристики.

3. Экспериментально получены значения показателей работы дизеля Д-242, входящего в конструкцию МТА: эффективная мощность при работе на метанола-рапсовой эмульсии уменьшилась на 11%, удельный эффективный расход увеличился на 18 %, уменьшился часовой расход топлива на 12,5%; содержание CO_2 в отработавших газах уменьшилось на 30% при увеличении концентрации углеводородов CH с 0 до 4 ppm, содержание CO при работе на метанола-рапсовой эмульсии снизилось на 40%, концентрация NO_x при работе на эмульсии снизилась на 25%.

4. В результате проведения эксплуатационных исследований пахотного агрегата установлено, что увеличился погектарный расход топлива с 16,82 кг/га (на ДТ) до 19,14 кг/га (на метанола-рапсовой эмульсии); производительность за час чистой работы тракторного агрегата при работе на метанола-рапсовой эмульсии снизилась до 1,01 га/ч с 1,03 га/ч при работе на стандартном ДТ; погектарные затраты на топливо снизились с 227,6 руб./га при работе на стандартном ДТ до 223,9 руб./га – на метанола-рапсовой эмульсии.

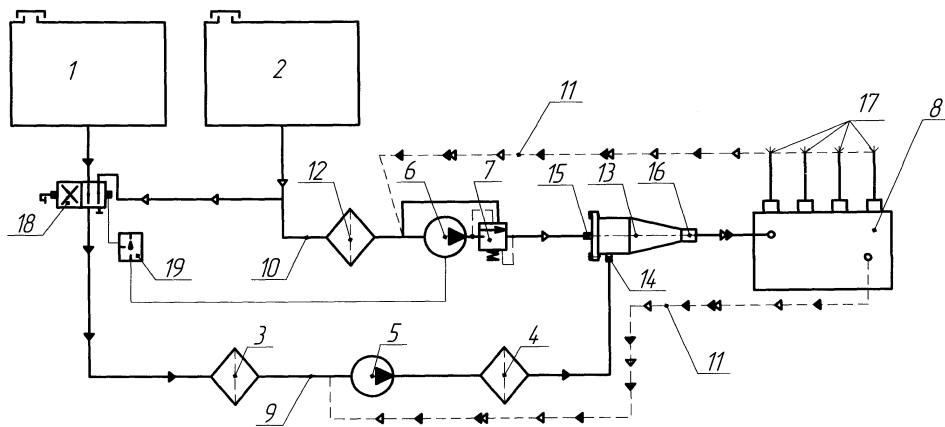
5 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ДВУХТОПЛИВНАЯ СИСТЕМА ПИТАНИЯ ДЛЯ АДАПТАЦИИ ДИЗЕЛЯ МАШИННО-ТРАКТОРНОГО АГРЕГАТА

5.1 Существующие варианты исполнения многотопливных систем питания дизеля

Известна трехтопливная система тракторного дизеля (рисунок 5.1), содержащая бак минерального топлива, бак растительного топлива, линию забора минерального топлива, состоящую из топливопроводов, фильтров тонкой и грубой очистки топлива, топливоподкачивающего насоса, линию забора растительного топлива, состоящую из топливопроводов и электрического насоса, топливный насос высокого давления, соединенный с линиями забора минерального и растительного топлива, линию слива избыточного топлива из топливного насоса высокого давления и линию слива избыточного топлива из форсунок, в линии забора растительного топлива между баком и электрическим насосом установлен фильтр-отстойник, а в линии забора минерального топлива между баком и фильтром грубой очистки установлен электрогидрораспределитель, имеющий два входных и один выходной каналы, один из входных каналов электрогидрораспределителя сообщен с линией забора минерального топлива, другой - с линией забора растительного топлива, выходной канал электрогидрораспределителя сообщен с входом фильтра грубой очистки топлива, при этом на выходе из линий забора минерального и растительного топлив перед топливным насосом высокого давления размещен смеситель, а между электрогидрораспределителем и топливоподкачивающим насосом - электропереключатель [110].

При запуске и прогреве ДТ из бака через электрогидрораспределитель, фильтры тонкой и грубой очистки топлива подается топливоподкачивающим насосом в смеситель, топливный насос высокого давления и далее форсунками впрыскивается в цилиндры дизеля. После прогрева дизеля на минеральном

топливе электропереключателем включают электрический насос, обеспечивающий подачу растительного топлива.



1 - бак минерального топлива; 2 - бак растительного топлива; 3 - фильтр грубой очистки топлива; 4 - фильтр тонкой очистки топлива; 5 - топливоподкачивающий насос; 6 - электрический насос; 7 – регулятор давления топлива; 8 - топливный насос высокого давления; 9 - линия забора минерального топлива; 10 - линия забора растительного топлива; 11 - линию слива избыточного топлива; 12 - фильтр-отстойник; 13 - смеситель; 14 – топливопровод обратки; 15 – топливопровод подачи; 16 – выходной топливопровод; 17 – форсунка; 18 – электрогидрораспределитель; 19 – электропереключатель.

Рисунок 5.1 – Трехтопливная система питания дизеля.

Минеральное топливо при этом подается в смеситель, также как при работе дизеля в режиме пуска и прогрева. В смесителе оба вида топлива перемешиваются и полученное минерально-растительное топливо поступает в цилиндры дизеля. При работе дизеля на растительном топливе переключателем отключают электрический насос, а золотник электрогидрораспределителя переводят в положение, при котором подача растительного топлива открыта, а минерального топлива закрыта.

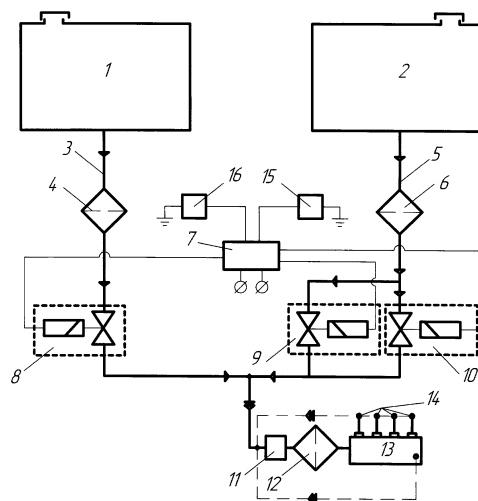
Недостатками данной системы питания являются: ручное управление электропереключателем для перевода работы дизеля на разные виды топлив и

отсутствие регулировки состава смесового топлива в зависимости от режимов работы двигателя.

Наиболее близким по технической сущности к заявленной является трёхтопливная система питания тракторного дизеля [111], содержащая бак минерального топлива, бак растительного топлива, линии забора минерального и растительного топлива, топливные фильтры, топливоподкачивающий насос, топливный насос высокого давления и форсунки, в линиях забора минерального и растительного топлива установлены электромагнитные клапаны, связанные с электронным блоком управления, снабжённым датчиком температурного режима охлаждающей жидкости, отличающаяся тем, что в линии забора растительного топлива установлены два параллельно соединённых электромагнитных клапана, имеющих разные проходные сечения и отдельную связь с электронным блоком управления, причем электронный блок управления дополнительно снабжён датчиком температуры выхлопных газов тракторного дизеля (рисунок 5.2).

Пуск тракторного дизеля и его прогрев осуществляются на минеральном топливе. При этом электромагнитный клапан открыт, а электромагнитные клапана закрыты. Минеральное топливо из бака, пройдя топливный фильтр грубой очистки и электромагнитный клапан, подается топливоподкачивающим насосом через топливный фильтр тонкой очистки в топливный насос высокого давления и через форсунки впрыскивается в цилиндры тракторного дизеля. После прогрева тракторного дизеля на минеральном топливе до температуры охлаждающей жидкости, равной 40-50°C, по информационным сигналам датчика температурного режима охлаждающей жидкости электронный блок управления подает разрешающий сигнал на открытие электромагнитных клапанов.

После этого электромагнитные клапана открываются или закрываются в зависимости от информационного сигнала датчика температуры выхлопных газов тракторного дизеля в следующей последовательности:



1 - бак минерального топлива; 2 - бак растительного топлива; 3, 5 - линии забора минерального и растительного топлива; 4, 6 - топливные фильтры грубой очистки; 7 - электронный блок управления; 8, 9, 10 - электромагнитные клапаны; 11 - топливоподкачивающий насос; 12 - топливный фильтр тонкой очистки; 13 - топливный насос высокого давления; 14 – форсунки; 15 - датчик температурного режима охлаждающей жидкости; 16 - датчик температуры выхлопных газов тракторного дизеля.

Рисунок 5.2 – Трехтопливная система питания дизеля.

- при температуре выхлопных газов 80-150°C (хол. ход работы тракторного дизеля, 600-800 об./мин.) открыты электромагнитные клапаны, а электромагнитный клапан закрыт. В результате этого поступает минеральное топливо из бака по линии забора минерального топлива через топливный фильтр грубой очистки и электромагнитный клапан, а также поступает и растительное топливо по линии забора растительного топлива через топливный фильтр грубой очистки и электромагнитный клапан. Получаемое дизельное смесевое топливо в пропорции 15% растительного топлива и 85% минерального топлива подается топливоподкачивающим насосом через топливный фильтр тонкой очистки в топливный насос высокого давления и через форсунки впрыскивается в цилиндры тракторного дизеля;

- при температуре выхлопных газов 150-250°C (пониженный режим работы тракторного дизеля, 800-1200 об./мин.) открыты электромагнитные

клапана, а электромагнитный клапан закрыт. При этом поступает минеральное топливо из бака по линии забора минерального топлива через топливный фильтр грубой очистки и электромагнитный клапан, а также поступает растительное топливо по линии забора растительного топлива через топливный фильтр грубой очистки и электромагнитный клапан. Получаемое дизельное смесевое топливо в пропорции 35% растительного топлива и 65% минерального топлива подается в цилиндры тракторного дизеля (цилиндры тракторного дизеля на фигуре не показаны) аналогично вышеописанному топливу;

- при температуре выхлопных газов 250-350°C (средний режим работы тракторного дизеля, 1200-1700 об./мин.) открыты все электромагнитные клапана. При этом поступает минеральное топливо из бака по линии забора минерального топлива через топливный фильтр грубой очистки и электромагнитный клапан, а также поступает растительное топливо по линии забора растительного топлива через топливный фильтр грубой очистки и электромагнитные клапана. Получаемое дизельное смесевое топливо в пропорции 50% растительного топлива и 50% минерального топлива подается в цилиндры тракторного дизеля аналогично вышеописанному топливу;

- при температуре выхлопных газов 350-450°C (повышенный режим работы тракторного дизеля, 1700-2200 об./мин.) открыты электромагнитные клапана, а электромагнитный клапан закрыт. При этом растительное топливо из бака пройдя через топливный фильтр грубой очистки и электромагнитные клапана, подается в цилиндры тракторного дизеля аналогично минеральному топливу при пуске и прогреве. Тракторный дизель работает на 100% растительном топливе.

Различный процентный состав смесового дизельного топлива (соотношение растительного и минерального топлива соответственно 15%: 85%; 35%: 65%; 50%: 50%) получается за счет подбора разных проходных сечений в электромагнитных клапанах.

Описанная выше последовательность работы электромагнитных клапанов в линиях забора минерального и растительного топлива в зависимости от температурного режима охлаждающей жидкости и температуры выхлопных газов двигателя обеспечивает возможность работы тракторного дизеля на трех видах топлива с автоматическим их переключением и автоматической регулировкой состава смесового топлива в зависимости от режимов работы двигателя, а именно:

- надежный пуск холодного двигателя на минеральном топливе;
- подача минимального количества растительного топлива (растительного масла) на холостом ходу и пониженных режимах работы двигателя;
- постепенное автоматическое увеличение содержания растительного масла в дизельном смесовом топливе по мере нагрева цилиндропоршневой группы с увеличением нагрузки на двигатель;
- подача чисто растительного масла на номинальном режиме работы тракторного дизеля.

Недостатком данной системы является невозможность оперативного контроля процентного состава и приготовления растительно-спиртовой эмульсии, состоящей из компонентов: растительного масла и алифатического спирта.

5.2 Предлагаемая двухтопливная система питания дизеля машинно-тракторного агрегата

Предлагаемая двухтопливная система питания дизеля МТА с автоматическим регулированием состава биотоплива, представленная на рисунке, позволит использовать метанола-рапсовую эмульсию в качестве моторного топлива для дизелей. Эта система обеспечивает замещение ДТ, не требует особых затрат на внесение конструктивных изменений в двигателя МТА и может быть реализована на дизелях, уже находящихся в эксплуатации.

Двухтопливная система питания дизеля МТА (рисунок 5.3) содержит бак стандартного дизельного топлива 1, бак растительного масла 2, бак алифатического спирта 3, линию забора дизельного топлива 4, состоящую из

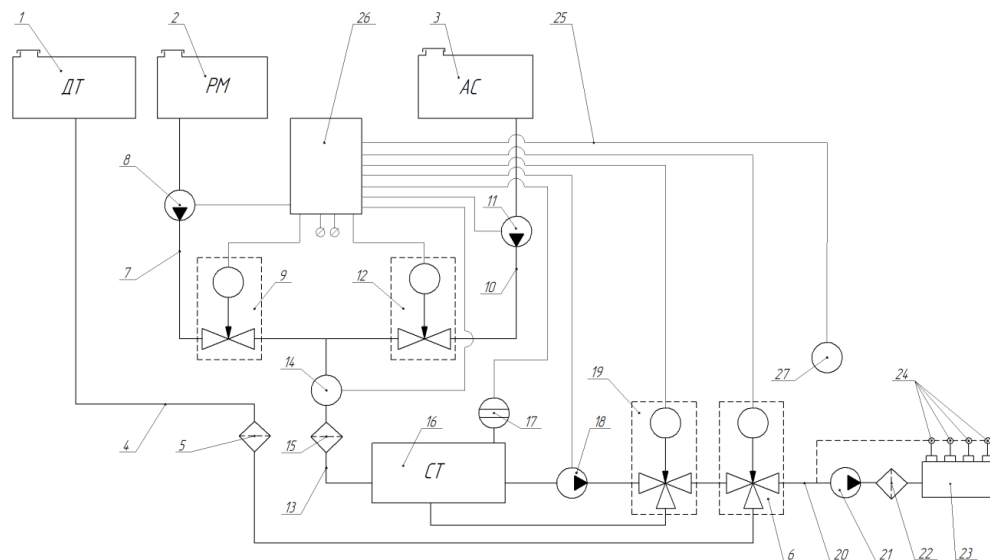


Рисунок 5.3 - Двухтопливная система питания двигателя МТА с автоматическим приготовлением МРЭ и переключения вида топлива (наименования позиций по тексту).

фильтра грубой очистки 5 и трехходового крана 6, линию забора растительного масла 7, состоящую из насоса 8 и дозатора 9, линию забора алифатического спирта 10, состоящую из насоса 11 и дозатора 12, линию приготовления МРЭ 13, состоящей из датчика состава МРЭ 14, фильтра грубой очистки 15, бака МРЭ 16, датчика уровня МРЭ 17, насоса 18 и трехходового крана 19, линии впрыскивания топлива 20, содержащей подкачивающий насос 21, фильтр тонкой очистки топлива 22; топливного насоса высокого давления 23 и форсунок 24, электронную систему управления приготовления и применения МРЭ 25, состоящей из микроконтроллера 26, датчика температуры охлаждающей жидкости двигателя 27, датчика уровня МРЭ 17, датчика состава МРЭ 14, трехходовых кранов 6 и 19, насосов 8, 11 и 18 и дозаторов 9 и 12.

Пуск двигателя и его прогрев осуществляется на дизельном топливе. При этом трехходовой кран 6 переключен в положение «Дизельное топливо».

Одновременно с пуском дизеля микроконтроллер 26 подает управляющий сигнал на включение насоса 18 на включение. Трехходовой кран 19 находится в положении «Циркуляция». Находящаяся в баке 16 МРЭ, перекачивается насосом 18 и гомогенизируется. При достижении двигателем рабочей температуры, датчик температуры охлаждающей жидкости 27 подает сигнал в микроконтроллер 26, который подает сигнал для перевода трехходового крана 19 в положение «Подача» и трехходового крана 6 в положение «МРЭ». Далее работа дизеля осуществляется на МРЭ.

При низком уровне МРЭ в баке 16, датчик уровня МРЭ 17 подает сигнал на микроконтроллер 26, который, в свою очередь, подает управляющий сигнал на включение насосов 8 и 11, а также дозаторов 9 и 12. Датчик состава МРЭ 14, оценивая содержание спиртового компонента в МРЭ, подает информацию микроконтроллеру 26, который основываясь на ней, регулирует работу дозаторов 9 и 12. Приготовленная МРЭ, проходя через фильтр 15, попадает в бак 16. При достижении необходимого уровня МРЭ в баке 16, датчик уровня МРЭ 17 подает сигнал на микроконтроллер 26, который, в свою очередь, подает управляющий сигнал на выключение насосов 8 и 11, а также дозаторов 9 и 12.

В случае, когда уровень МРЭ в баке 16 не повышается, например, в результате выхода из строя насоса 8 или 11, при выработке растительного масла и алифатического спирта в баках 2 и 3, микроконтроллер 26 подает сигнал на выключение насоса 18 и перевод трехходового крана 6 в положение «Дизельное топливо».

ВЫВОДЫ

1. Предлагаемая двухтопливная система питания двигателя МТА позволяет осуществлять автоматическое приготовление МРЭ с оперативным регулированием состава МРЭ, а также переключать в автоматическом режиме с одного вида топлива на другое.

6 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТАНОЛО-РАПСОВОЙ ЭМУЛЬСИИ В ДИЗЕЛЕ МАШИННО- ТРАКТОРНОГО АГРЕГАТА

6.1 Расчет экономического эффекта с точки зрения экологической безопасности

Экономический механизм охраны окружающей природной среды включает, с одной стороны, планирование и финансирование природоохранных мероприятий, и установление лимитов использования природных ресурсов, выбросов и сбросов загрязняющих веществ в окружающую природную среду. С другой стороны, предусматривает установление нормативов платы и размеров платежей за использование природных ресурсов, выбросы и сбросы загрязняющих веществ в окружающую природную среду, размещение отходов и другие виды вредного воздействия, а также предоставление налоговых, кредитных и иных льгот при внедрении малоотходных и ресурсосберегающих технологий [109, 112].

Регулирование отношений в области охраны окружающей природной среды только путем применения административно-правовых методов воздействия на основе запретов и ограничений, мер административного и уголовного наказания не приносит ожидаемого эффекта. Включение средств экономического стимулирования в регулирование экологических отношений должно привести к большей заинтересованности предприятий или любых других хозяйственных объектов в проведении природоохранных мероприятий, внедрении ресурсосберегающих технологий [113].

Эффективность предотвращения ущерба от воздействия отработавших газов имеет экономический эффект, социально-экономический и социальный аспекты. Экономический - снижение отрицательного воздействия на окружающую среду, улучшение ее состояния, уменьшению уровня загрязнения, увеличение количества и улучшение качества пригодных к использованию

земельных, лесных и водных ресурсов; социально-экономический – повышение уровня жизни населения; социальный – улучшение физического развития населения, сокращение заболеваемости, увеличение продолжительности жизни, сохранение природных и антропогенных ландшафтов и памятников природы.

Расчет величин выбросов загрязняющих веществ с отработавшими газами дизелей производится по формуле [114]:

$$G_{ij} = \sum_{N=1}^n (g_{ijk} \cdot \tau_k \cdot k_f \cdot k_t), \quad (6.1)$$

где G_{ij} - общая масса i – го вещества, выброшенного j – двигателем, кг; g_{ijk} - удельный выброс i – го загрязняющего вещества при работе j – го двигателя на k – ом режиме, кг/ч; n - число режимов работы дизеля; τ_k - доля времени работы дизеля на k – ом режиме %; k_f - коэффициент влияния технического состояния дизелей, принимается равным единице для дизелей со сроком эксплуатации менее двух лет; k_t - коэффициент влияния климатических условий работы дизеля.

Разделение времени работы дизеля по режимам работы в таблице 6.1 [115, 116].

Таблица 6.1 – Разделение времени работы дизеля по режимам работы

Режим работы двигателя				
Холостой ход	25% N_e	50% N_e	75% N_e	N_e
45,6	39,8	12,9	1,2	0,5

Удельные значения выбросов при работе дизеля по штатному циклу:

$$G_{CO} = (0,85 \cdot 0,456 + 0,91 \cdot 0,398 + 1,46 \cdot 0,129 + 2,14 \cdot 0,012 + 4,24 \cdot 0,005) \cdot 1,2 = 1,182 \text{ , кг/ч}$$

$$G_{NO_x} = (4,17 \cdot 0,456 + 10,01 \cdot 0,398 + 11,56 \cdot 0,129 + 13,17 \cdot 0,012 + 14,79 \cdot 0,005) \cdot 1,2 = 9,130 \text{ , кг/ч}$$

$$G_{CH} = (0,02 \cdot 0,456 + 0,05 \cdot 0,398 + 0,1 \cdot 0,129 + 0,23 \cdot 0,012 + 0,43 \cdot 0,005) \cdot 1,2 = 0,047 \text{ , кг/ч}$$

Согласно данных анализа токсичности дизеля при переходе на метанолю-рапсовую эмульсию, происходит снижение выбросов NO_x на 24,7%, увеличение выбросов CH на 20,3 %, а также уменьшение выбросов CO на 40%.

Удельные значения выбросов при работе дизеля на метанолю-рапсовой эмульсии:

$$G_{\text{CO}} = (0,81 \cdot 0,456 + 0,86 \cdot 0,398 + 1,39 \cdot 0,129 + 2,03 \cdot 0,012 + 4,03 \cdot 0,005) \cdot 1,2 = 1,123, \text{ кг/ч}$$

$$G_{\text{NO}_x} = (3,13 \cdot 0,456 + 7,51 \cdot 0,398 + 8,67 \cdot 0,129 + 9,88 \cdot 0,012 + 11,09 \cdot 0,005) \cdot 1,2 = 6,850, \text{ кг/ч}$$

$$G_{\text{CH}} = (0,024 \cdot 0,456 + 0,06 \cdot 0,398 + 0,12 \cdot 0,129 + 0,28 \cdot 0,012 + 0,51 \cdot 0,005) \cdot 1,2 = 0,056, \text{ кг/ч}$$

Экономическая оценка ущерба, причиняемого годовыми выбросами вредных веществ в атмосферный воздух определяется по формуле [120]:

$$Y_e = \gamma \cdot \sigma \cdot d \cdot M, \quad (6.2)$$

где Y - ущерб, руб./г.; σ - показатель относительной опасности загрязнения над различной территорией; d - константа, учитывающая природно-климатические условия; M - приведенная масса годового выброса усл. т / г.

$$M = \sum_{i=1}^N A_i \cdot m_i, \quad (6.3)$$

где A_i - относительная агрессивность i - ой примеси, усл. т./т; m_i - масса годового выброса i - ой примеси в атмосферу, т/г; N - общее число примесей, выбрасываемых дизелем в атмосферу.

$$m_i = \frac{G_{ij} \cdot T_{\text{год}}}{1000}; \quad (6.4)$$

где $T_{\text{год}}$ - среднее время работы двигателя в течение года, час.

При работе на дизельном топливе:

$$m_{\text{CO}} = \frac{1,182 \cdot 1680}{1000} = 1,986, \text{ т/г}$$

$$m_{\text{NO}_x} = \frac{9,130 \cdot 1680}{1000} = 15,338, \text{ т/г}$$

$$m_{\text{CH}} = \frac{0,047 \cdot 1680}{1000} = 0,079, \text{ т/г}$$

Приведенная масса годового выброса:

$$M_{дт} = 1,0 \cdot 1,968 + 41,1 \cdot 15,338 + 1,52 \cdot 0,079 = 632,48 \text{ , усл. т/г}$$

Экономический ущерб экологии при этом составит:

$$Y_{дт} = 24,5 \cdot 3,0 \cdot 1,0 \cdot 632,48 = 46487,3 \text{ , руб.}$$

При работе на метано-рапсовой эмульсии:

$$m_{CO} = \frac{1,123 \cdot 1680}{1000} = 1,886 \text{ , т/г}$$

$$m_{NO_x} = \frac{6,850 \cdot 1680}{1000} = 11,508 \text{ , т/г}$$

$$m_{CH} = \frac{0,056 \cdot 1680}{1000} = 0,094 \text{ , т/г}$$

Приведенная масса годового выброса:

$$M_{МПЭ} = 1,0 \cdot 1,868 + 41,1 \cdot 11,508 + 1,52 \cdot 0,094 = 474,99 \text{ , усл. т/г}$$

Экономический ущерб экологии при этом составит:

$$Y_{МПЭ} = 24,5 \cdot 3,0 \cdot 1,0 \cdot 474,99 = 35205,8 \text{ , руб.}$$

Годовой экономический эффект P предлагаемой технологии определяется по формуле:

$$P = Y_{дт} - Y_{МПЭ} \text{ ,} \quad (6.5)$$

$$P = 46487,3 - 35205,8 = 11281,5 \text{ , руб.}$$

6.2 Расчет удельного стоимостного расхода при использовании метано-рапсовой эмульсии в качестве моторного топлива

Произведем сравнительный расчет удельного стоимостного расхода при работе дизеля Д-242 на дизельном топливе и метано-рапсовой эмульсии.

Исходные данные:

1. Стоимость 1 кг дизельного топлива – 47,1 руб.
2. Стоимость 1 кг рапсового масла – 59,3 руб.
3. Стоимость 1 кг метанола – 15,5 руб.
4. Часовой расход топлива:
 - дизельное топливо – 12,0 кг/ч;

- метано-рапсовая эмульсия – 10,5 кг/ч.

Удельный стоимостной расход q_{CT} на топливо определяются по формуле [16]:

$$q_{CT} = \frac{G_i \cdot k_i}{N_e}, \quad (6.6)$$

где G_i - часовой расход i – го вида топлива, кг/ч; k_i - стоимость одного кг i – го вида топлива, руб.; N_e - эффективная мощность, кВт.

Дизельное топливо:

$$q_{CT \text{ ДТ}} = \frac{12,0 \cdot 47,1}{46} = 12,3, \text{ руб./кВт.}$$

Метано-рапсовая эмульсия:

$$q_{CT \text{ ДТ}} = \frac{10,5 \cdot (0,7 \cdot 59,3 + 0,3 \cdot 15,5)}{40} = 12,1, \text{ руб./кВт.}$$

Таблица 6.2 - Экономическая эффективность предлагаемых решений

Показатель	Дизельное топливо	Метано-рапсовая эмульсия
Годовой эколого-экономический ущерб, руб.	46487,3	35205,8
Чистый годовой эколого-экономический эффект, руб.	-	6641,5
Удельный стоимостной расход; руб./кВт·ч	12,3	12,1

6.3 Экономический эффект от использования метано-рапсовой эмульсии в дизеле машинно-тракторного агрегата

Экономический эффект работы трактора с дизелем Д-242, дооснащенного двухтопливной системой питания, определяется путем определения затрат на конструктивную модернизацию системы питания и сопоставления расходом

при работе дизеля на стандартном ДТ и метанола-рапсовой эмульсии в соотношении компонентов: метанол – 27% масс., рапсовое масло – 67% масс., эмульгатор – 6% масс.

В качестве исходных данных использовались действующие значения коэффициентов, тарифных ставок тракториста-машиниста, стоимости стандартного ДТ и метанола-рапсовой эмульсии [121].

В общем виде эффективность от использования новых видов моторных топлив на один трактор выражается формулой:

$$\Theta = \Pi_1 \frac{T_2}{T_1} \cdot \frac{P_1 + E_H}{P_2 + E_H} + \frac{(I_1 - I_2) - E_H \cdot (K_2 - K_1)}{P_2 + E_H} - \Pi_2, \quad (6.7)$$

где Π_1 , Π_2 – приведенные затраты при использовании стандартного ДТ и метанола-рапсовой эмульсии соответственно, руб.; T_1 , T_2 – годовые загрузки трактора, час; P_1 , P_2 – доли отчислений от балансовой стоимости трактора, руб.; I_1 , I_2 – издержки на эксплуатацию трактора, руб.; K_1 , K_2 – сопутствующие капитальные вложения, руб.

При применении новых видов топлива сопутствующие капитальные вложения K_1 отсутствуют, K_2 – представляют затраты на конструктивную модернизацию системы питания трактора для работы на метанола-рапсовой эмульсии, а параметры Π_1 и Π_2 в общем случае не являются определяющими. Поэтому зависимость приобретает вид:

$$\Theta = \frac{(I_1 - I_2) - E_H \cdot K_2}{P_2 + E_H}. \quad (6.8)$$

Доля отчислений от балансовой стоимости трактора:

$$P_2 = \frac{1}{C_c}, \quad (6.9)$$

где C_c – срок службы трактора до капитального ремонта, лет.

$$C_c = \frac{T_{PH}}{T_{ГН}}, \quad (6.10)$$

где T_{PH} – наработка трактора до капитального ремонта, час; $T_{ГН}$ – годовая наработка трактора, час.

Принимаем $T_{PH}=6000$ час, $T_{ГН}=1200$ часов [113].

$$C_c = \frac{6000}{1200} = 5, \text{ лет.}$$

$$P_2 = \frac{1}{5} = 0,2.$$

Годовые эксплуатационные затраты определяются по зависимости [120]:

$$И = C_{от} + C_T + C_a, \quad (6.11)$$

где $C_{от}$ – оплата труда тракториста, руб.; C_T – издержки на топливо-смазочные материалы, руб.; C_a – амортизационные отчисления, руб.

Оплата труда тракториста определяется по зависимости:

$$C_{от} = C_ч \cdot K_0 \cdot T_{гн} + C_{соц}, \quad (6.12)$$

где $C_ч$ – тарифная ставка, руб./час; K_0 – коэффициент увеличения оплаты труда по тарифу, $C_{соц}$ – социальные отчисления, руб.

Коэффициент увеличения определяется по зависимости:

$$K_0 = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5, \quad (6.13)$$

где K_1 – коэффициент, учитывающий надбавку за классность; K_2 – коэффициент, учитывающий дополнительную зарплату; K_3 – коэффициент, учитывающий отчисления на страховые платежи; K_4 – коэффициент доплат за продукцию; K_5 – коэффициент, учитывающий оплату отпусков.

$$K_0 = 1,1 \cdot 1,08 \cdot 1,2 \cdot 1,4 \cdot 1,1 = 2,19.$$

Социальные отчисления:

$$C_{соц} = \frac{R_{соц} \cdot (C_ч \cdot K_0 \cdot T_{гн})}{100}, \quad (6.14)$$

где $R_{соц}$ – норма отчислений на социальные нужды, %.

$$C_{соц} = \frac{20,2 \cdot (84,8 \cdot 2,19 \cdot 1200)}{100} = 45016, \text{ руб.}$$

$$C_{от} = 84,8 \cdot 2,19 \cdot 1200 + 45016 = 267870,4, \text{ руб.}$$

Произведем расчет годового расхода топлива при работе дизеля МТА на дизельном топливе и метано-рапсовой эмульсии по показателям, полученным в результате стендовых исследований.

Годовой расход топлива определяется по зависимости:

$$C_T = T_{гн} \cdot G_T \cdot C_T, \quad (6.15)$$

где G_T – часовой расход топлива, кг/час; C_T – стоимость топлива, руб./кг.

Стоимость 1 кг дизельного топлива – 47,1 руб. Стоимость метанола-рапсовой эмульсии определяется из выражения

$$C_{MPЭ} = a \cdot C_{PM} + b \cdot C_{MET} + c \cdot C_{ЭМ}, \quad (6.16)$$

где C_{PM} , C_{MET} , $C_{ЭМ}$ – стоимость 1 кг рапсового масла, метанола, эмульгатора соответственно, руб./кг; a , b , c – доля компонентов эмульсии: рапсового масла, метанола, эмульгатора.

$$C_{MPЭ} = 0,67 \cdot 59,3 + 0,27 \cdot 15,5 + 0,06 \cdot 50 = 46,9, \text{ руб.}$$

$$C_{дт} = 1200 \cdot 12,0 \cdot 47,1 = 678240, \text{ руб.}$$

$$C_{мрэ} = 1200 \cdot 10,5 \cdot 46,9 = 590940, \text{ руб.}$$

Амортизационные отчисления определяется по зависимости:

$$C_A = \frac{(B + C_{МОД}) \cdot E_H}{100}, \quad (6.17)$$

где B – балансовая стоимость трактора, руб.; $C_{МОД}$ – затраты на модернизацию системы питания, руб.; E_H – норма амортизационных отчислений, %.

Затраты на модернизацию системы питания представлены в таблице 6.3.

$$C_{A1} = \frac{110000 \cdot 14,7}{100} = 161700, \text{ руб.}$$

$$C_{A2} = \frac{(110000 + 19280) \cdot 14,7}{100} = 164534,2, \text{ руб.}$$

Годовые эксплуатационные издержки составят:

$$И_1 = 267870,4 + 678240 + 161700 = 1107810,4 \text{ руб.}$$

$$И_2 = 267870,4 + 590940 + 164534,2 = 1023344,6 \text{ руб.}$$

Годовой экономический эффект:

$$\mathcal{E} = \frac{(1107810,4 - 1023344,6) - 0,147 \cdot 19280}{0,2 + 0,147} = 235249,6, \text{ руб.}$$

Полученные значения сведены в таблицу 6.4.

Таблица 6.3 - Перечень компонентов для модернизации системы питания

№ п/п	Наименование			Кол- во	Ед. изм	Цена, руб.	Сумма, руб.
Затраты на покупные детали							
1.	Насос Patron PFP115			3	шт.	850	2550
2.	Регулятор Tsn-Цитрон 4201			2	шт.	400	800
3.	Датчик температуры Lada 4233828			1	шт.	150	150
4.	Датчик Flex fuel			1	шт.	2000	2000
5.	Датчик уровня 2108-3827010			1	шт.	400	400
6.	Фильтр-отстойник ОФ150В			2	шт.	390	780
7.	Микроконтроллер Arduino Nano			1	шт.	150	150
8.	Трехходовой кран Mosklapan MS-312-15-25			2	шт.	3100	6200
9.	Трубка из полиуретана - TPU 12x9			10	м	115	1150
10.	Провод 2х жильный экранированный			10	м	10	100
11.	Всего:						14280
Затраты на работы по доводке и сборке							
12.	Электротехнические работы	3,5	н/час			1000	3000
13.	Слесарные работы	2,5	н/час			800	2000
14.	Всего:						5000
15.	ИТОГО:						19280

Таблица 6.4 – Экономическая эффективность от использования метанола-рапсовой эмульсии

Показатели	ДТ	Метанола- рапсовое эмульсия
Балансовая стоимость трактора, руб.	920000	939280
Расходы на модернизацию системы, руб.	0	19280
Годовая нормативная загрузка трактора, час	1200	1200
Цена топлива, руб./кг	47,1	45,2
Часовой расход топлива, кг	12,0	10,5
Годовые затраты на топливо, руб.	678240	569520
Годовые затраты на оплату труда тракториста-машиниста, руб.	267870,4	267870,4
Годовые амортизационные отчисления, руб.	161700	164534,2
Годовые эксплуатационные издержки, руб.	1107810,4	1023344,6
Годовой экономический эффект, руб.	-	235249,6

ВЫВОДЫ

Анализируя данные таблицы, следует отметить снижение годового эколого-экономического ущерба на 24,3%, что связано со снижением эмиссии оксидов азота в окружающую среду. При переоборудовании дизеля затраты составили 19280 руб., в состав которых входят затраты на дополнительное оборудование – 14280 руб. и оплату труда рабочих – 5000 руб. Чистый годовой эколого-экономический эффект составил 6641,5 руб. Удельный стоимостной расход снизился на 2%, что связано с меньшей стоимостью одного килограмма эмульсии. Годовой экономический эффект от применения в качестве топлива метанола-рапсовой эмульсии составляет 235249,6 рублей на один трактор.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. При оценке отечественного и зарубежного опыта по применению альтернативных видов топлива выявлен перспективный вид биотоплива для МТА с точки зрения простоты приготовления и использования - смесь рапсового масла с легкими альтернативными топливами, использование которой позволит улучшить показатели работы дизелей, находящихся в эксплуатации без существенного изменения конструкции двигателя. Для проведения исследований предлагается использование рапсового масла в виде эмульсии с метанолом.

2. Теоретически определено, что при работе дизеля МТА на метано-рапсовой эмульсии по сравнению со штатным циклом увеличивается удельный индикаторный расход топлива с 206 г/(кВт·ч) до 265 г/(кВт·ч) (на 28%); среднее эффективное давление снижается с 0,660 МПа до 0,524 МПа (на 20%); эффективная мощность снижается с 47,0 кВт до 37,1 кВт (на 21,1%).

3. Экспериментально определены физико-механические свойства метано-рапсовой эмульсии: вязкость и время стабильности. Максимально приближенным к свойствам стандартного ДТ является состав эмульсии в композиции: метанол 27% масс., эмульгатор – 6 % масс. Установлена аналогичность характера зависимостей и снижение величины цикловой подачи топливного насоса высокого давления на 6,8% на ДТ и на метано-рапсовой эмульсии на номинальной частоте вращения в условиях регуляторной характеристики. Определено уменьшение цикловой подачи на 18,3% при работе на метано-рапсовой эмульсии по сравнению с характеристикой, снятой на ДТ в условиях скоростной характеристики.

4. Экспериментально получены значения показателей работы дизеля МТА: эффективная мощность при работе на метано-рапсовой эмульсии уменьшилась на 11%, удельный эффективный расход увеличился на 18 %, уменьшился часовой расход топлива на 12,5%; содержание CO_2 в отработавших газах уменьшилась на 30% при увеличении концентрации углеводородов CH с

0 до 4 ppm, содержание CO при работе на метано-рапсовой эмульсии снизилось на 40%, концентрация NOx при работе на эмульсии снизилась на 25%.

5. В результате проведения экспериментальных исследований пахотного агрегата установлено, что увеличился погектарный расход топлива с 16,82 кг/га (на ДТ) до 19,14 кг/га (на метано-рапсовой эмульсии); производительность за час чистой работы тракторного агрегата при работе на метано-рапсовой эмульсии снизилась до 1,01 га/ч с 1,03 га/ч при работе на стандартном ДТ; погектарные затраты на топливо снизились с 227,6 руб./га при работе на стандартном ДТ до 223,9 руб./га – на метано-рапсовой эмульсии.

6. В результате проведения расчета установлено, что годовой эколого-экономический ущерб при применении метано-рапсовой эмульсии в качестве моторного топлива снизился на 24,3%. Годовой экономический эффект от применения в качестве топлива метано-рапсовой эмульсии составляет 235249,6 рублей.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лоджевская, М. И. Ресурсный потенциал углеводородов: современное состояние, проблемы, пути решения / М. И. Лоджевская // Геология нефти и газа. - 2010. - № 5. - С.35-43.
2. Гужновский, Л. П. Планирование добычи нефти и подготовки запасов / Л. П. Гужновский, С. Е. Казаков. - М.: Недра, 1989. - 188 с.
3. Новиков, Ю.Н. Оценка состояния и геологической обоснованности запасов нефти и газа месторождений нераспределенного фонда недр / Ю.Н. Новиков // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. - 2011. - №2 4. - С.26-34.
4. Энергетика России. Проблемы и перспективы. - М.: Наука, РАН, 2006. - 636 с.
5. Семенов, В. Г. Альтернативные топлива растительного происхождения / В. Г. Семенов, А. А. Зинченко // Химия и технология топлив и масел. - 2005. - № 1. - С. 29-34.
6. Шилова, Е.П. Альтернативные виды топлива для автотранспорта: Аналитическая справка. - М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2005. - 18 с.
7. Голицин, М. В. Альтернативные энергоносители / М. В. Голицин, А. М. Голицин, Н. В. Пронина. - М.: Наука, 2004. - 159 с.
8. Скаляхо, А.С. Современное состояние и перспективы использования природного газа в качестве моторного топлива на транспорте / А.С. Скаляхо, Р.О. Самсонов, К.Ю. Чириков. - М.: ИРЦ Газпром, 1999. - 61 с.
9. Гайнуллин, Ф. Г. Природный газ как моторное топливо на транспорте /Ф. Г. Гайнуллин, А. И. Гриценко, Ю. Н. Васильев, Л. С, Золотаревский. – М.: Недра, 1986. – 126 с.
10. Лыков, О.П. Природный и попутный газ как моторное топливо / О.П. Лыков // Химия и технология топлив и масел. – 1999. - № 6, С.3 – 7.
11. Чириков, К.Ю. Перспективы применения СПГ на транспорте / К.Ю.Чириков, Е.Н. Пронин // Газовая промышленность. – 1999. - № 10, С. 28 –

29.

12. Емельянов, В.Е. Автомобильный бензин и другие виды топлива, ассортимент, применение / В.Е. Емельянов, И.Ф. Крылов. – М.: Астрель: Профиздат, 2005.- 207 с.

13. Данилов, А.М. Присадки и добавки. Улучшение экологических характеристик нефтяных топлив / А.М. Данилов. - М.: Химия, 1996. - 232 с.

14. Лютко, В. Применение альтернативных топлив в двигателях внутреннего сгорания / В. Лютко, В.Н. Луканин, А.С. Хачиян. – М.: МАДИ (ТУ), 2000. – 311 с.

15. Лиханов, В.А. Снижение токсичности автотракторных двигателей / В.А. Лиханов, А.М. Сайкин. – М.: Колос, 1994. – 224 с.

16. Смирнов, А.Ю. Улучшение эффективных и экологических показателей автотракторных дизелей с наддувом путём подачи метанола на впуске: Авто- реф. дис...канд. техн. наук / А.Ю. Смирнов. – Санкт-Петербург - Пушкин, 2009. – 19 с.

17. Копаев, Е.В. Улучшение эффективных и экологических показателей автотракторных дизелей с наддувом путем подачи водометанольных смесей на впуске: Авто- реф. дис...канд. техн. наук / Е.В. Копаев. – Тверь, 2010. – 19 с.

18. Биоэнергетика: мировой опыт и прогноз развития: науч. аналит. обзор / Под ред. С. Г. Митина. - М.: ФГНУ «Росинфорагротех», 2007. - 204 с.

19. Состояние и развитие производства биотоплива: Науч. аналит. обзор. - М.: ФГНУ «Росинфорагротех», 2007. - 130с.

20. Аблаев, А.Р. Биотопливо в мире и в России / А.Р. Аблаев // Экологический вестник России. - 2007. - № 6. - С.8-15.

21. Девянин, С.Н. Растительные масла и топлива на их основе для дизельных двигателей / С.Н. Девянин, В.А. Марков, В.Г. Семенов. - М.: Изд-во МГАУ им. В.П. Горячкина, 2008. - 340 с.

22. Линия для получения масла из семян масличных культур / Н. В. Бышов, А. Н. Бачурин, В. М. Корнюшин, И. В. Черных // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П. А. Костычева. -

2013. - № 3 (19). - С. 59-60.

23. Марков, В. А. Состав и теплота сгорания биотоплив, получаемых из растительных масел / В. А. Марков, С. А. Нагорнов, С. Н. Девянин // Вестник Московского государственного технического университета им. Н. Э. Баумана. Серия: Естественные науки. - 2012. - № 2. - С. 65-80.

24. Загородских, Б.П. Биотопливо для дизелей на основе сафлорового масла / Б.П. Загородских, М.К. Тохиян, В. А. Чугунов // Нива Поволжья. - 2009. - №4. - С. 71-74.

25. Уханов, А.П. Перспективы использования биотоплива из горчицы / А. П. Уханов, В. А. Голубев // Вестник УГСХА. - 2011. - № 1. - С. 88-90.

26. Сидоров, Е.А. Оценка жирнокислотного состава растительных масел и дизельных смесевых топлив на основе рыжика, сурепицы и льна масличного/ Е.А. Сидоров, А.П. Уханов, О.Н. Зеленина //Известия СЕСХА. - 2013. - №3. - С.49-54

27. Сидорова, Л.И. Перспективы использования редькового масла в качестве компонента дизельного смесевого топлива / Л.И. Сидорова // Проблемы экономичности и эксплуатации автотракторной техники: сб. материалов 25 Международного научно-технического семинара имени Михайлова В.В. - Саратов: СЕАУ, 2012. - С.233-236.

28. Черняков, А. А. Исследование показателей тракторного дизеля при работе на минеральном топливе с добавкой соевого масла / А. А. Черняков, Е. Д. Година // Эксплуатация автотракторной техники: опыт, проблемы, инновации, перспективы: сборник статей Всероссийской научно-практической конференции - Пенза: РИО ПГСХА, 2013. - С. 128-131.

29. Уханов, А. П. Рапсовое биотопливо и результаты его применения на тракторных дизелях / А. П. Уханов, Н. С. Киреева // Механизация и электрификация сельского хозяйства. - 2008. - № 5. - С. 42-43.

30. Dorado, M.P. The effect of a waste vegetable oil blend with diesel fuel on engine performance / M.P. Dorado, J.M. Arnal, J. Gomez, A. Gil, F.J. Lopez // Trans.

ASAE. -St.Joseph (Mich.). - 2002; Vol.45. - №3. - P. 519-523

31. Бачурин, А. Н. Перспективы применения биотоплив на автотракторной технике / А. Н. Бачурин, В. М. Корнюшин // Сборник научных трудов студентов магистратуры. - Рязань, 2013. - С. 47-51.

32. Паушкин, Я.М. Растительная биомасса как сырье для получения олефинов и моторных топлив / Я.М. Паушкин, А.Л. Лapidус, С.В. Адельсон // Химия и технология топлив и масел. – 1994. - №6. – С.3-5.

33. Работа дизелей на нетрадиционных топливах: Учеб. пособ. // В.А. Марков, А.И. Гайвороновский, Л.В. Грехов [и др.] – М.: Легион-Автодата, 2008.- 464 с.

34. Agache, G. P. Mise on Oeuvre de Tracteurs a Motcur Polycarburants Alcools / Agache G. P. // Entropie. 1986. An. 22. N 130/131.- P. 103-107.

35. Wrage, K. K. Technical Feasibility of Diesohol / Wrage K. E., Gocring C. E. // Transaction of the ASAE. - 1980. -Vol. 23. - N. 6. - P. 1338-1343.

36. Фукс, И. Г. Экологические аспекты использования топлив и смазочных материалов растительного и животного происхождения / И. Г. Фукс. А. К). Евдокимов, А. А. Джамалов // Химия и технология топлив и масел. 1992. - №6. - С. 36-40.

37. Шкаликова, В. Н. Применение нетрадиционных топлив в дизелях / В. Н. Шкаликова. Н. Н. Патрахальцев. - М: Изд-во Российского ун-та дружбы народов. 1993. - 64 с.

38. Yamane, K. Trend in Research and Development of Biofuel Utilization Systems / Yamane K. // Journ. of Japan Society of Automotive Engineers. - 2001. - Vol. 55. – N. 5. - P.55 60.

39. Паронян, В. Х. Технология жиров и жирозаменителей / В.Х. Паронян. - М.: ДеЛи принт. – 2006 г. - 760 с.

40. Химия жиров / Б. Н. Тютюнников [и др.]. - М. : Колос. 1992.- 448 с.

41. Семёнов, В.Г. Определение теплоты сгорания биотоплив растительного происхождения / В. Г. Семенов // Гр. Одесского политехн. ун-та. – 2001 г. - Вып. 5. - С. 218-221.

42. Биотопливо для дизелей / С. А. Нагорнов, А. А. Макушин, С. В. Романцова (и др.] // Автомобильная промышленность. – 2006 г. - № 10.- С. 34-36.
43. Марков, В. А. Работа дизелей на растительных маслах / Марков. В. А. Коршунов, С. Н. Девянин. // Грузовик &. – 2006 г. - № 7. - С. 33-46.
44. Рапсовое масло как альтернативное топливо для дизеля / В.А. Марков. А.И. Гайворонский, С. Н. Девянин (и др.]) // Автомобильная промышленность . - 2006. - № 2. - С. 1-3.
45. Семёнов, В.Г. Влияние физико-химических показателей биодизельного топлива на параметры дизеля и его эколого-эксплуатационные характеристики / В. Г. Семенов. С. В. Рудаченко // Тракторы и сельхозмашины. 2010. - №1. - С. 8-10.
46. Синицин, П. С. Диагностика современного автомобиля / Храпов Ю.Н., Успенский И.А., Кокорев Г.Д., Полищук С.Д., Костенко М.Ю., Шемякин А.В., Юхин И.А., Колупаев С.В., Салтан В.В., Филюшин О.В., Шафоростов В.А., Гусаров С.Н. // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2016. № 118. С. 1001-1025.
47. Володин, В. М. Производство моторного топлива из растительного сырья в ФРГ и возможности его использования в России / В. М. Володин, П.Д. Лупачев // Автогазозаправочный комплекс + альтернативное топливо. - 2009.- №5. - С. 33-36.
48. Девянин, С. И. Растительные масла и топлива на их основе для дизельных двигателей / С. Н. Девянин. В. А. Марков. В. Г. Семенов // Харьков: Новое слово. – 2007 г. - 452 с.
49. Давыдова, Е.М. Развитие топливного рынка ЕС: биодизельное топливо - возобновляемый энергетический ресурс / Е. М. Давыдова. В Harten, Н. Н. Пасхин // Масложировая промышленность. 2005. - № 4. - С. 22-24.
50. Erdmann, P. Untersuchungen zur Herstellung von Rapsolfettsäureethylestem aus extraktiv gewonnenen ethanolischen Miscellen / Erdmann P.,

Krause T. // Fett Wissenschaft Technologic. - 1995. - Jg. 97. - N. 7/8. - S. 273-277.

51. Синицин, П.С. Уменьшение энергетических затрат в сельскохозяйственном производстве (на примере картофеля) / Бышов Н.В., Борычев С.Н., Успенский И.А., Кокорев Г.Д., Костенко М.Ю., Рембалович Г.К., Костенко Н.А., Юхин И.А., Голиков А.А., Колупаев С.В., Колотов А.С., Филюшин О.В. // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2016. № 120. - С. 375-398.

52. Sineiro, J. Ethanolic Extraction of Sunflower Oil in a Pulsing Extractor / Sineiro J. // Journ. of the American Oil Chemists' Society. - 1998. - Vol. 75. - N. 6. - P. 753-754.

53. Beeger, W. Raffination und Umwelt Verfahrenstechnische Losungen / Beeger W., Kunze B. / Fett Wissenschaft Technologie. - 1994.- Jg. 96. - N.8. - S. 309-318.

54. Rohdenburg, H. Entschleimung und Physikalische Raffination (von Raps- und Sonnenblumenol) / Rohdenburg H., Peredi J. // Fett Wissenschaft Technologic. - 1993. - Jg. 95. - Sonderausgabe - N. I. - S. 483-487.

55. Рабинович, Л. М. Химические и технологические аспекты гидрогенизации рапсового масла / Л. М. Рабинович // Масложировая промышленность. - 2005. - № 4. - С. 13-14.

56. Desantes. J. M. Characterisation of the Injection-Combustion Process in a D.I. Diesel Engine Running with Rape Oil Methyl Ester / Desantes J.M., Arregle J., Ruiz S. [e.a.] // SAE Technical Paper Series. - 1999.- N. 1999-01-1497. - P. 1-8.

57. Howell, S. U.S. Biodiesel Standards - An Update of Current Activities / Howell S. // SAE Technical Paper Series. - 1997. - N. 971687. P. 203-208.

58. May. H. Neuere Untersuchungen uber die Umweltverträglichkeit und Dauerstandfestigkeit von Vorkammer- und Direkt Einspritzenden Dieselmotoren beim Betrieb mit Rapsol und Rapsolmethylester / May H., Hattingen K., Birkner C. [e.a.] // VDI-Berichte. - 1992. - Vol. 1020. - P. 189-212.

59. Высокотехнологическое производство альтернативного биотоплива из

растительного сырья / А. Долинский. Л. Грабов. В. Мерший [и др.] // Автогазозаправочный комплекс + альтернативное топливо. - 2005. - № 3. - С. 62-64.

60. Достижение физико-химических показателей альтернативного биотоплива на основе рапсового масла / А. П. Марченко [и др.] // Вести. Харьковского гос. политех, ун-та. - Машиностроение. - 2000. - Вып. 101. - С. 159-163.

61. Дунин, С. А. Исследование жирнокислотного состава масложировой продукции / С. А. Дунин, К. В. Пивоваров. В. А. Зенин // Масла и жиры. - 2008. - № 8. - С. 20-25.

62. Исследования рабочего процесса тракторного дизеля при работе на смеси дизельного топлива и рапсового масла / Л. И. Басистый [и др.] // Вести. Российского ун-та дружбы народов. Тепловые двигатели. - 1996. - № 1. - С. 30-36.

63. Марков, В.А. Улучшение экологических характеристик транспортного дизеля регулированием состава смесового биотоплива / В.А. Марков. Л. Л. Ефанов, С. Н. Девянин // Грузовик &. - 2008. - № 9. - С. 42-56.

64. Марков, В. А. Работа дизелей на смесях дизельного топлива и метилового эфира рапсового масла / В. А. Марков, А. К. Шустер, С.Н. Девянин // Транспорт на альтернативном топливе. - 2009. - № 4. - С. 33-37.

65. Козлов, А. В. Оценка эффективности применения биодизельного моторного топлива в полном жизненном цикле / А. В. Козлов, А. С. Теренченко // Транспорт на альтернативном топливе. – 2008. - № 2. - С. 26-28.

66. Синицин, П.С. Оценка фильтрующего элемента фильтра тонкой очистки топлива на основе изменения разряжения в топливопроводе системы питания Common Rail / Симдянкин А.А., Бышов Н.В., Борычев С.Н., Успенский И.А., Кокорев Г.Д., Юхин И.А., Клиншов А.А., Лучков М.С. // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2014. № 104. С. 211-221.

67. Марченко, А.П. Альтернативное биотопливо на основе производных

рапсового масла / А.П. Марченко, В.Г. Семенов // Химия и технология топлив и масел. - 2001. - № 3. - С. 31 -32.

68. Семёнов, В. Г. Экспериментальная оценка влияния состава бинарных смесей биодизельного топлива на показатели дизельного двигателя / В. Г. Семёнов, М.Н. Лылка // Вести. Харьк. национального автомобильно-дорожного ун-та. - 2007. - Вып. 37. - С. 111-115.

69. Семёнов, В.Г. Оптимизация состава бинарного альтернативного дизельного топлива / В. Г. Семенов // Химия и технология топлив и масел. - 2003. - № 4. - С. 29-32.

70. Harrington, K. J. A Comparison of Conventional and in situ Methods of Transesterification of Seed Oil from a Series of Sunflower Cultivars / Harrington K.J., D. Arey, Evans C. // Journ. of the American Oil Chemists&Society. -1985. - Vol. 62. - N. 6. - P. 1009-1013.

71. Характеристики процесса топливоподачи и показатели быстроходного дизеля, работающего на дизельном топливе и рапсовом масле / С. В. Гусаков [и др.] // Вести. МГТУ им. Н. Э. Баумана. - Машиностроение. - 2009. - № 2. - С. 58-71.

72. Марков, В.А. Совершенствование процессов распыливания топлива и смесеобразования при работе дизеля на биотопливе на основе рапсового масла / В. А. Марков. А. В. Стремяков, С. Н. Девянин [и др.] // Грузовик&. - 2010. - № 10. - С. 2-11.

73. Марков, В. Л. Топлива и топливоподача многотопливных и газодизельных двигателей / В. А. Марков. С И. Котов // - М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана. - 2000. - 296 с.

74. Оптимизация процесса впрыскивания смесевое биотоплива / В. А. Марков [и др.] // Автомобильная промышленность. - 2009. - №5. - С. 11-15.

75. Кулиев, Р. Ш. Физико-химические свойства некоторых растительных масел / Р. Ш. Кулиев. Ф. Р. Ширинов. Ф. А. Кулиев // Химия и технология топлив и масел. - 1999. - № 4. - С 36-37.

76. Вальехо, П. Экспериментальное определение кинетических констант

воспламенения растительных топлив в условиях ДВС / П. Вальехо, С. В. Гусаков, А. Прияндака // Вест. Российского ун-та дружбы народов. Инженерные исследования. - 2003. - № I. - С. 29-31.

77. Марков В.А. Использование растительных масел и топлив на их основе в дизельных двигателях / В.А. Марков, С.Н. Девянин, В.Г. Семенов, А.В. Шахов, В.В.Багров. М.: ООО НИЦ "Инженер", 2011. - 536 с.

78. Грехов, Л.В. Параметры процесса топливоподачи и показатели дизеля, работающего на смесевых биотопливах / Л.В. Грехов, В.А. Марков, С.Н. Девянин // Грузовик. – 2009. -№7. – С.39-47.

79. Краснощеков, Н. В. Адаптация тракторов и автомобилей к работе на биотопливе / И. В. Краснощеков, Г. С. Савельев, Д. Б. Бубнов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1994 г. - № 12. -С. 1-4.

80. Кочуров, А.А. Испытание топливных насосов на работающем двигателе / Кочуров А.А., Зуб Д.В. / Сельский механизатор. - 2016. - № 1. С.- 33-35.

81. Синицин, П.С. Методика оценки загрязненности фильтра тонкой очистки дизельного топлива / Симдянкин А.А., Успенский И.А. // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2014. № 95. С. 327-346.

82. Киреева, Н. С. Оценка возможности использования рапсового биотоплива, в качестве моторного топлива для дизелей, по его физико-химическим свойствам / Н. С. Киреева, В. А. Голубев, О. М. Каняева // Научно-технический вестник Поволжья. - 2014. - № 2. - С. 136-139.

83. Жосан, А. А. Сравнение физико-химических свойств дизельного топлива и рапсового масла / А. А. Жосан, Ю. Н. Рыжов, А. А. Курочкин // Вестник ОрелГАУ. - 2011. - № 4 (31). - С. 72-74.

84. Тракторы «БЕЛАРУСЬ» МТЗ 80/82 и 100/102. - Харьков: Трактормаш, 2001 г. - 224 с.

85. Патент № 2035612 РФ. МПК F 02 М 43/00. Многотопливный двигатель внутреннего сгорания / Е. Ю. Лерман, В. С. Смайлис, С. И. Якушев и

др. - № 4928183/06; Заяв. 16.04.1991; Оpubл. 20.05.1995. Бюл. № 24.

86. Патент № 2387867 РФ. МПК F 02 M 43/00. Двухтопливная система тракторного дизеля / А. П. Уханов, Д. А. Уханов, В. А. Рачкин, В. А. Иванов. - № 2008138726/06; Заяв. 29.09.2008; Оpubл. 27.04.2010. Бюл. № 12.

87. Патент № 2452864 РФ. МПК F02M 43/00. Двухтопливная система питания дизеля / А. П. Уханов, Д. А. Уханов, Р. К. Сафаров, Д. С. Шеменев, В. В. Крюков. - № 201042007/06; Заявлено 13.10.2010; Оpubл. 10.06.2012, Бюл. № 16.

88. Патент № 2536747 РФ. МПК F 02 M 37/10, F 02 D 19/08, F 02 M 43/00. Двухтопливная система питания автотракторного дизеля / А. П. Уханов, Д. А. Уханов, И. Ф. Адгамов. - № 2013114311/06; Заяв. 29.03.2013; Оpubл. 27.12.2014. Бюл. №36.

89. Уханов, А. П. Двухтопливная система питания автотракторного дизеля / А. П. Уханов, И. Ф. Адгамов // Проблемы экономичности и эксплуатации автотракторной техники: Материалы Международного научно-технического семинара имени В.В. Михайлова. - Вып. 26. - Саратов, ООО «Буква» 2013. - С. 196-198.

90. Кочуров, А.А. Расчетный способ термостабилизации топлива при стендовых испытаниях топливных насосов высокого давления / Кочуров А.А., Зуб Д.В. // Машинно-технологическая станция. - 2013. - № 3. - С. 21-24.

91. Патент № 2538338 РФ. МПК F 02 D 19/06, F 02 M 37/00, B 01 F 15/04, B 01 F 5/06. Смеситель компонентов биоминерального топлива / Д. А. Уханов, М. А. Уханов, А. П. Уханов, И. Ф. Адгамов. - № 2013128813/06; Заяв. 24.06.2013; Оpubл. 10.01.2015. Бюл. №1

92. Синицин, П.С. Инновационные технологии оценки ресурса фильтров тонкой очистки топлива системы Common Rail / Бышов Н.В., Борычев С.Н., Симдянкин А.А., Успенский И.А. // Техника и оборудование для села. - 2014. - № 2. - С. 9-12.

93. Уханов, А. П. Ультразвуковой смеситель / А. П. Уханов, К. А. Ахраменко, И. Ф. Адгамов // Эксплуатация автотракторной техники: опыт,

проблемы, инновации, перспективы: сборник статей Всероссийской научно-практической конференции - Пенза: РИО ПГСХА, 2013. - С. 108-111.

94. Патент на полезную модель 58624 РФ, МПК F02 N 7/00. Топливная система дизельного двигателя / С.Г.Михеев; С.Г.Михеев. - № 2006118114/22; За- явл. 25.05.2006; Оpubл. 27.11.2006

95. Kinoshita, E. Diesel Combustion of Palm Oil Methyl Ester Blend Fuels with Various Gas Oils / E. Kinoshita [e.a.] // Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers. - Scr. B. - 2007. -Vol. 73.- N. 729. - P. 1250-1255.

96. Патент на изобретение 2230882 Россия, МПК В 28 С 5/02, Е 21 В 33/13. Жидкостный смеситель / СА Яковлев, Х.З. Кашапов, Р.Р. Кадыров, В.А. Андреев, М.Х. Салимов. - № 2002122438/03; Заявл. 19.08.2002; Оpubл. 20.06.2004.

97. Вибе, И.И. Новое о рабочем цикле двигателя / И. И. Вибе. // - Свердловск. : Изд-во «Уральский рабочий». - 1961. - 271 с.

98. Николаенко, А. В. Теория, конструкция и расчет автотракторных двигателей / А. В. Николаенко. - М.: Колос. - 1992. - 414 с.

99. Двигатели внутреннего сгорания. Ч.1. Теория поршневых и комбинированных двигателей // Под ред. А. С. Орлина, М. Г. Круглова. - М.: Машиностроение. - 1983. - 372 с.

100. Николаенко, А. В. Энергетические установки и машины. Двигатели внутреннего сгорания: Учеб. пособие. / А. В. Николаенко, В. С. Шкрабак. - СПб.: Изд-во СПбГАУ, 2005. - 438 с.

101. Баширов, Р. М. Основы теории и расчета автотракторных двигателей / Р. М. Баширов. - Уфа: БашГАУ, 2010. - 304 с.

102. ГОСТ 33-2000. Нефть и нефтепродукты. Методы определения вязкости - М.: Издательство стандартов, 1985. - 37 с.

103. Кочуров, А.А. Способ определения угла начала впрыскивания топлива форсункой / Кочуров А.А., Зуб Д.В. / Труды ГОСНИТИ. - 2013. - Т. 113. - С. 182-185.

104. Испытания двигателей внутреннего сгорания / Б. С. Стефановский,

Ю. М. Доколин, В. М. Сорокин и др. / М.: Машиностроение. - 1972. - 367 с.

105. Дымомер ИНФРАКАР Д: Паспорт ВЕКМ.415311.007 ПС. - М.: ЗАО «Альфа-динамика Химавтоматика». - 2006. - 24 с.

106. Газоанализатор концентрации окиси углерода, углеводородов и дымности «АВТОТЕСТ-СО-СН-Д» / Паспорт. Методика поверки. - Жигулевск, 1996. - 80 с.

107. Белов В.В. Разработка программно-алгоритмического средства обработки данных трехфакторного планированного эксперимента для расчета математической модели прочности бетона / В.В. Белов, И.В. Образцов, Ю.Ю. Курятников // Программные продукты и системы / Software & Systems. – 2014. - №4 (108). – С.254-258.

108. Иванов, А.А. Методика исследований свойств метанола-рапсовой эмульсии / А.А. Иванов, А.И. Горбатенков // Проблемы аграрной науки и образования. Сборник научных трудов по материалам международной научно-практической конференции 3-5 июня 2008 г. – Часть II. – Тверь : «АГРОСФЕРА» Тверской ГСХА, 2008. – С. 34-36.

109. Данилов, И.К. Анализ неисправностей и устройство диагностирования топливной аппаратуры дизелей сельскохозяйственной техники / Марусин А.В. // Эффективность технической эксплуатации и автосервиса транспортных и технологических машин. Сборник научных статей по материалам III Международной научной конференции. - 2017. - С. 57-61.

110. Патент на изобретение РФ №2403431, МПК F02М 43/00. Трехтопливная система тракторного дизеля / А.П. Уханов, Д.А. Уханов, В.А. Рачкин, В.А. Иванов. - № 2009116953/06; Заяв. 04.05.2009; Оpub. 10.11.2010. Бюл. №31.

111. Патент на полезную модель РФ №157837, МПК F02М 43/00, F02D 19/08. Трехтопливная система питания дизеля / Н.В. Бышов, О.А. Ильин, А.Н. Бачурин, Д.Н. Бышов, В.М. Корнюшин, И.В. Черных, А.А. Горохов. - № 2015115650/06; Заяв. 24.04.2015. Оpubл. 10.12.2015. Бюл. №34.

112. Карабаницкий, А.П. Теоретические основы производственной экс-

плуатации МТП / А.П. Карабаницкий, Е.А. Кочкин. - М.: КолосС, 2009. - 95 с.

113. Зангиев, А. А. Эксплуатация машинно-тракторного парка / А.А. Зангиев, А.В. Шпилько, А.Е. Левшин. - М.: КолосС, 2005. - 320 с.

114. Данилов, И.К. Анализ методов диагностирования топливной аппаратуры автотракторных дизелей и разработка математической модели топливного насоса высокого давления / Бышов Н.В., Борычев С.Н., Юхин И.А., Успенский И.А., Кокорев Г.Д., Шемякин А.В., Костенко М.Ю., Рембалович Г.К., Кравченко А.М., Полищук С.Д., Загородских Б.П., Смольянов А.В. // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. - 2016. - № 123. - С. - 169-192.

115. Motorprozess verhalten und Abgas-emissionen alternativer Kraftstoffe im Vergleich mit Dieselmotoren // Kraftstoffe MTZ - 2008. - №08. - S. 640-646

116. Семенов, В. Г. Экономические и экологические показатели дизеля при работе на биодизельных топливах разных сортов / В. Г. Семенов. И. П. Васильев // Грузовик &. - 2007. - № 12. - С. 37-40.

117. Семёнов, В. Г. Сравнение экономических и экологических показателей дизеля при работе на биодизельных топливах разных сортов / В. Г. Семенов, И. П. Васильев // Автогазозаправочный комплекс + альтернативное топливо. - 2007. - № 4. - С. 69-71.

118. О методике комплексной оценки уровня экологической безопасности автомобиля в жизненном цикле / В. Ф. Кутенев, В. А. Звонов. А. В. Козлов [и др.] : В межвуз. сб.: Автомобильные и тракторные двигатели. - М : Изд-во ТУ «МАМИ», 1999. - Вып. 15. - С. 88-96.

119. Кульчицкий, Л.Р. Токсичность автомобильных и тракторных двигателей / Л. Р. Кульчицкий // Владимир.: Изд-во Владимирского гос. ун-та. – 2000г. - 256 с.

120. Звонов, В. А. Методика комплексной оценка эффективности применения альтернативных топлив в двигателях внутреннего сгорания / В. А. Звонов. Л. С. Заиграев, А. В. Козлов // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 1996 г. - № 1. - С. 10- 13.

121. Временная методика определения предотвращаемого экологического ущерба / Гос. комитет Рос. Федерации по охране окр. среды. – М., 1999. – 41 с

122. Данилов, И.К. Оценка экономической эффективности применения устройств ультразвуковой обработки топлива / Симдянкин А.А., Пуков Р.В. // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. - 2017. - № 126. - С. 50-68.

ПРИЛОЖЕНИЕ «А»

Таблица - Исходные данные для теплового расчета

Наименование параметра	Обозначение	Единица измерения	Значение
1	2	3	4
Продолжительность процесса сгорания	φ_z	°	50
Показатель сгорания	m	-	0,5
Коэффициент эффективности сгорания	ξ	-	0,85
Давление окружающей среды	P_0	МПа	0,1
Температура окружающей среды	T_0	К	288
Степень сжатия	ε	-	16
Давление рабочего тела в начале сжатия	P_a	МПа	0,085
Давление остаточных газов	P_r	МПа	0,011
Температура остаточных газов	T_r	К	750
Коэффициент избытка воздуха	α	-	1,3
Повышение температуры	ΔT	К	15

Продолжение таблицы

1	2	3	4
Элементный состав дизельного топлива			
С	-	%	0,86
Н	-	%	0,13
О	-	%	0,01
Элементный состав рапсового масла			
С	-	%	0,76
Н	-	%	0,13
О	-	%	0,11
Элементный состав метанола			
С	-	%	0,20
Н	-	%	0,40
О	-	%	0,40
Молярный вес воздуха	$\mu_{\text{в}}$	-	28,95
Постоянная кривошипа	λ	-	1/3,7
Показатель политропы сжатия	n_1	-	1,36

Продолжение таблицы

1	2	3	4
Показатель политропы расширения	n_2	-	1,3
Угол опережения впрыска	Θ	$^{\circ}$	20
Теплотворность дизельного топлива	Q_H	ккал/кг	10000
Теплотворность рапсового масла	Q_{pm}	ккал/кг	8917
Теплотворность метанола	Q_m	ккал/кг	4623
Массовая доля рапсового масла	-	-	0,7
Массовая доля метанола	-	-	0,3
Показатель политропы расширения	n_2	-	1,3
Теплотворность метанола	Q_m	ккал/кг	4623
Массовая доля рапсового масла	-	-	0,7
Массовая доля метанола	-	-	0,3

ПРИЛОЖЕНИЕ «Б»

Дизельное топливо

Исходные данные											
Р ₀	Т ₀	ρ	Р _в	Р _г	Т _г	Т _г	С	Н	О	Δ	Δ _в
1.033	15	1.1	0.95	1.1	780	15	0.86	0.13	0.01	1.3	28.95
1.033											
Q _т	Q _г	Q _д	1.3								
10000	20	1.3	1.3								

Расчет показателей горения

коэф. пересчета
m = 0.76678
температура газа в начале сжатия
T_а = 310.3402
коэф. остат. газов
γ = 0.03052
удельный объем рабочего тела в начале сжатия
V_в = 1.097054
удельный объем рабочего тела в момент воспламенения
V_у = 0.107751
длина рабочего тела в момент воспламенения
R_у = 19.85421
температура рабочего тела в момент воспламенения
T_у = 734.0229
теоретически необходимое кол-во воздуха для полного сгорания 1 кг топлива
L₀ = 14.44025

В (мм) перед 2 Вых
Дли 20" мм

исходные V_в/V_у
10.18136

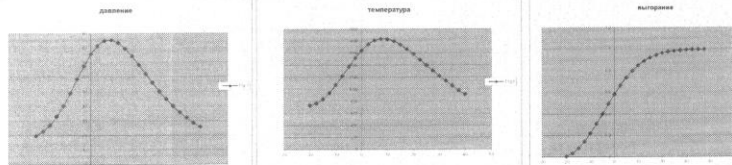
постоянные уравнения давления
E2 517.6495

ρ	Q
0	0
2.5	0.0043
5	0.0087
7.5	0.0131
10	0.0175
12.5	0.0219
15	0.0263
17.5	0.0307
20	0.0351
22.5	0.0395
25	0.0439
27.5	0.0483
30	0.0527
32.5	0.0571
35	0.0615
37.5	0.0659
40	0.0703
42.5	0.0747
45	0.0791
47.5	0.0835
50	0.0879
52.5	0.0923
55	0.0967

ρ	Q	Q _т	Q _г	Q _д
0	0	0	0	0
2.5	0.0043	0.00142345	0.001423	0.001423
5	0.0087	0.0028469	0.0028469	0.0028469
7.5	0.0131	0.0042704	0.0042704	0.0042704
10	0.0175	0.0056939	0.0056939	0.0056939
12.5	0.0219	0.0071174	0.0071174	0.0071174
15	0.0263	0.0085409	0.0085409	0.0085409
17.5	0.0307	0.0099644	0.0099644	0.0099644
20	0.0351	0.0113879	0.0113879	0.0113879
22.5	0.0395	0.0128114	0.0128114	0.0128114
25	0.0439	0.0142349	0.0142349	0.0142349
27.5	0.0483	0.0156584	0.0156584	0.0156584
30	0.0527	0.0170819	0.0170819	0.0170819
32.5	0.0571	0.0185054	0.0185054	0.0185054
35	0.0615	0.0199289	0.0199289	0.0199289
37.5	0.0659	0.0213524	0.0213524	0.0213524
40	0.0703	0.0227759	0.0227759	0.0227759
42.5	0.0747	0.0241994	0.0241994	0.0241994
45	0.0791	0.0256229	0.0256229	0.0256229
47.5	0.0835	0.0270464	0.0270464	0.0270464
50	0.0879	0.0284699	0.0284699	0.0284699
52.5	0.0923	0.0298934	0.0298934	0.0298934
55	0.0967	0.0313169	0.0313169	0.0313169

общая удельная истолкованная теплота сгорания топлива
Q_с = 415.0099
максимальное значение действительного коэф. молекулярного изменения
γ_{max} = 1.045834 0.045834

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
ρ	Q	Q _т	Q _г	Q _д	Q _в	Q _г	Q _д	Q _в	Q _г	Q _д	Q _в	Q _г	Q _д	Q _в	Q _г	Q _д	Q _в	Q _г	Q _д
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2.5	0.0043	0.00142345	0.00142345	0.00142345	0.00142345	0.00142345	0.00142345	0.00142345	0.00142345	0.00142345	0.00142345	0.00142345	0.00142345	0.00142345	0.00142345	0.00142345	0.00142345	0.00142345	0.00142345
5	0.0087	0.0028469	0.0028469	0.0028469	0.0028469	0.0028469	0.0028469	0.0028469	0.0028469	0.0028469	0.0028469	0.0028469	0.0028469	0.0028469	0.0028469	0.0028469	0.0028469	0.0028469	0.0028469
7.5	0.0131	0.0042704	0.0042704	0.0042704	0.0042704	0.0042704	0.0042704	0.0042704	0.0042704	0.0042704	0.0042704	0.0042704	0.0042704	0.0042704	0.0042704	0.0042704	0.0042704	0.0042704	0.0042704
10	0.0175	0.0056939	0.0056939	0.0056939	0.0056939	0.0056939	0.0056939	0.0056939	0.0056939	0.0056939	0.0056939	0.0056939	0.0056939	0.0056939	0.0056939	0.0056939	0.0056939	0.0056939	0.0056939
12.5	0.0219	0.0071174	0.0071174	0.0071174	0.0071174	0.0071174	0.0071174	0.0071174	0.0071174	0.0071174	0.0071174	0.0071174	0.0071174	0.0071174	0.0071174	0.0071174	0.0071174	0.0071174	0.0071174
15	0.0263	0.0085409	0.0085409	0.0085409	0.0085409	0.0085409	0.0085409	0.0085409	0.0085409	0.0085409	0.0085409	0.0085409	0.0085409	0.0085409	0.0085409	0.0085409	0.0085409	0.0085409	0.0085409
17.5	0.0307	0.0099644	0.0099644	0.0099644	0.0099644	0.0099644	0.0099644	0.0099644	0.0099644	0.0099644	0.0099644	0.0099644	0.0099644	0.0099644	0.0099644	0.0099644	0.0099644	0.0099644	0.0099644
20	0.0351	0.0113879	0.0113879	0.0113879	0.0113879	0.0113879	0.0113879	0.0113879	0.0113879	0.0113879	0.0113879	0.0113879	0.0113879	0.0113879	0.0113879	0.0113879	0.0113879	0.0113879	0.0113879
22.5	0.0395	0.0128114	0.0128114	0.0128114	0.0128114	0.0128114	0.0128114	0.0128114	0.0128114	0.0128114	0.0128114	0.0128114	0.0128114	0.0128114	0.0128114	0.0128114	0.0128114	0.0128114	0.0128114
25	0.0439	0.0142349	0.0142349	0.0142349	0.0142349	0.0142349	0.0142349	0.0142349	0.0142349	0.0142349	0.0142349	0.0142349	0.0142349	0.0142349	0.0142349	0.0142349	0.0142349	0.0142349	0.0142349
27.5	0.0483	0.0156584	0.0156584	0.0156584	0.0156584	0.0156584	0.0156584	0.0156584	0.0156584	0.0156584	0.0156584	0.0156584	0.0156584	0.0156584	0.0156584	0.0156584	0.0156584	0.0156584	0.0156584
30	0.0527	0.0170819	0.0170819	0.0170819	0.0170819	0.0170819	0.0170819	0.0170819	0.0170819	0.0170819	0.0170819	0.0170819	0.0170819	0.0170819	0.0170819	0.0170819	0.0170819	0.0170819	0.0170819
32.5	0.0571	0.0185054	0.0185054	0.0185054	0.0185054	0.0185054	0.0185054	0.0185054	0.0185054	0.0185054	0.0185054	0.0185054	0.0185054	0.0185054	0.0185054	0.0185054	0.0185054	0.0185054	0.0185054
35	0.0615	0.0199289	0.0199289	0.0199289	0.0199289	0.0199289	0.0199289	0.0199289	0.0199289	0.0199289	0.0199289	0.0199289	0.0199289	0.0199289	0.0199289	0.0199289	0.0199289	0.0199289	0.0199289
37.5	0.0659	0.0213524	0.0213524	0.0213524	0.0213524	0.0213524	0.0213524	0.0213524	0.0213524	0.0213524	0.0213524	0.0213524	0.0213524	0.0213524	0.0213524	0.0213524	0.0213524	0.0213524	0.0213524
40	0.0703	0.0227759	0.0227759	0.0227759	0.0227759	0.0227759	0.0227759	0.0227759	0.0227759	0.0227759	0.0227759	0.0227759	0.0227759	0.0227759	0.0227759	0.0227759	0.0227759	0.0227759	0.0227759
42.5	0.0747	0.0241994	0.0241994	0.0241994	0.0241994	0.0241994	0.0241994	0.0241994	0.0241994	0.0241994	0.0241994	0.0241994	0.0241994	0.0241994	0.0241994	0.0241994	0.0241994	0.0241994	0.0241994
45	0.0791	0.0256229	0.0256229	0.0256229	0.0256229	0.0256229	0.0256229	0.0256229	0.0256229	0.0256229	0.0256229	0.0256229	0.0256229	0.0256229	0.0256229	0.0256229	0.0256229	0.0256229	0.0256229
47.5	0.0835	0.0270464	0.0270464	0.0270464	0.0270464	0.0270464	0.0270464	0.0270464	0.0270464	0.0270464	0.0270464	0.0270464	0.0270464	0.0270464	0.0270464	0.0270464	0.0270464	0.0270464	0.0270464
50	0.0879	0.0284699	0.0284699	0.0284699	0.0284699	0.0284699	0.0284699	0.0284699	0.0284699	0.0284699	0.0284699	0.0284699	0.0284699	0.0284699	0.0284699	0.0284699	0.0284699	0.0284699	0.0284699
52.5	0.0923	0.0298934	0.0298934	0.0298934	0.0298934	0.0298934	0.0298934	0.0298934	0.0298934	0.0298934	0.0298934	0.0298934	0.0298934	0.0298934	0.0298934	0.0298934	0.0298934	0.0298934	0.0298934
55	0.0967	0.0313169	0.0313169	0.0313169	0.0313169	0.0313169	0.0313169	0.0313169	0.0313169	0.0313169	0.0313169	0.0313169	0.0313169	0.0313169	0.0313169	0.0313169	0.0313169	0.0313169	0.0313169
57.5	0.1011	0.0327404	0.0327404	0.0327404	0.0327404	0.0327404	0.0327404	0.0327404	0.0327404	0.0327404	0.0327404	0.0327404	0.0327404	0.0327404	0.0327404	0.0327404	0.0327404	0.0327404	0.0327404
60	0.1055	0.0341639	0.0341639	0.0341639	0.0341639	0.0341639	0.0341639	0.0341639	0.0341639	0.0341639	0.0341639	0.0341639	0.0341639	0.0341639	0.0341639	0.0341639	0.0341639	0.0341639	0.0341639



Метаноле-рапсовая эмульсия – соотношение 20 : 80

Исходные данные									
Р ₀	Т ₀	z	Р _в	z _в	Т	С	Н	В	α
1.033	268	16	0.85	1.1	750	15	0.75	0.15	0.1
Р _в	Т _в	z _в	Р	z	Т	С	Н	В	α
0.85	20	1.3	1.3	0.2	0.5	0.2	0.4	0.4	1

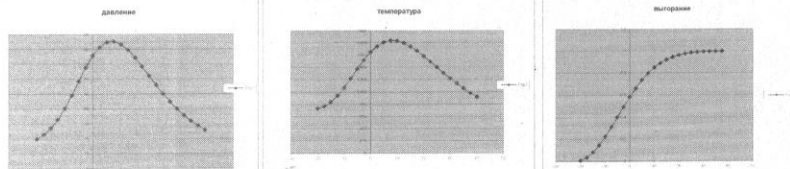
Расчет показателей сгорания									
Q _в	Q _п	Q _г	Q _ж	Q _с	Q _н	Q _в	Q _п	Q _г	Q _ж
0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000

Расчет показателей сгорания									
Q _в	Q _п	Q _г	Q _ж	Q _с	Q _н	Q _в	Q _п	Q _г	Q _ж
0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000

общая удельная теплота сгорания топлива
Q_г 467.4966

максимальное значение действительного коэф. молекулярного изменения
0.076212

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
0	20	1.3	7.66667	1.5715	12.04817	1.4395	10.80861	10.95421	211.6876	0.005431	3.160422	214.86	11.03617	3.464887	22.10227	1.00414	1.00414	734.0229	
2.5	17.5	1.3	7.66667	1.5715	12.04817	1.4395	10.80861	10.95421	211.6876	0.005431	3.160422	214.86	11.03617	3.464887	22.10227	1.00414	1.00414	734.0229	
5	15	1.3	7.66667	1.4395	11.03617	1.32325	9.71291	22.70522	220.4853	0.033077	0.017646	32.27466	10.14492	8.702517	26.30763	1.001590	1.001590	819.6271	
7.5	12.5	1.3	7.66667	1.32325	10.14492	1.225	8.918817	26.30763	236.4459	0.053235	0.030159	17.56077	9.254096	9.361667	8.068417	31.4616	1.004057	1.003008	888.7548
10	10	1.3	7.66667	1.225	9.361667	1.14475	8.346917	31.4616	259.6291	0.059245	0.04007	24.46147	8.543818	8.734477	7.914177	37.62043	1.007299	1.00566	968.0545
12.5	7.5	1.3	7.66667	1.14475	8.734477	1.08175	7.884667	37.62043	289.4767	0.14779	0.052544	30.55846	8.002721	8.265417	7.488897	44.77368	1.011263	1.009261	1112.101
15	5	1.3	7.66667	1.08175	8.265417	1.036	7.557417	44.77368	324.9413	0.206053	0.081264	35.67252	7.601367	7.842967	6.860627	52.50559	1.018522	1.01598	1233.627
17.5	2.5	1.3	7.66667	1.036	7.842967	1.00045	6.93271	52.50559	364.4739	0.27675	0.087627	39.46107	6.93271	7.39117	6.22623	62.2623	1.021101	1.01617	1362.845
20	0	1.3	7.66667	1.00045	7.739117	1	6.739117	60.2563	406.0742	0.348906	0.072031	41.84229	6.481653	7.666667	6.657217	67.39167	1.025951	1.023486	1461.933
22.5	2.5	1.3	7.66667	1	7.666667	1.00045	6.657217	67.39167	448.0165	0.4227	0.073965	43.00666	6.22623	7.39117	6.739117	72.86212	1.03222	1.029469	1602.129
25	5	1.3	7.66667	1.00045	7.739117	1.036	6.739117	72.86212	489.4033	0.496212	0.073441	42.76342	6.01517	7.666667	6.93271	78.16188	1.037617	1.035015	1618.296
27.5	7.5	1.3	7.66667	1.036	7.842967	1.08175	6.93271	86.60017	525.6277	0.567217	0.071006	41.34559	5.682728	8.265417	7.257417	86.60017	1.043229	1.040523	1695.548
30	10	1.3	7.66667	1.08175	8.265417	1.14475	7.446667	78.12327	568.4768	0.634112	0.066695	39.167	5.682728	8.265417	7.666667	77.64186	1.048327	1.045776	1695.548
32.5	12.5	1.3	7.66667	1.14475	8.734477	1.225	7.557417	77.64186	598.3061	0.695616	0.061504	35.81234	5.221184	8.361667	8.265417	75.46486	1.053014	1.050671	1647.677
35	15	1.3	7.66667	1.225	9.361667	1.32325	8.006417	75.46486	608.053	0.750695	0.055249	32.1702	4.640232	10.14492	8.919917	71.84184	1.057225	1.05512	1608.161
37.5	17.5	1.3	7.66667	1.32325	10.14492	1.4395	8.705417	71.84184	625.4133	0.795368	0.048533	29.25688	4.051673	11.03617	9.712917	67.39167	1.060674	1.058074	1546.066
40	20	1.3	7.66667	1.4395	11.03617	1.5715	9.464667	67.39167	636.0659	0.841118	0.041721	24.26207	3.61259	12.04817	10.80861	63.3116	1.064103	1.062513	1471.263
42.5	22.5	1.3	7.66667	1.5715	12.04817	1.72	10.32617	62.33196	643.7749	0.876234	0.036115	20.44669	3.22118	13.16667	11.61517	60.2563	1.06779	1.066191	1366.621
45	25	1.3	7.66667	1.72	13.16667	1.88425	11.30242	51.18973	646.3366	0.909165	0.030651	16.85765	2.851545	14.44592	12.72562	52.13369	1.069986	1.067883	1296.309
47.5	27.5	1.3	7.66667	1.88425	14.44592	2.06425	12.38167	52.13369	645.2543	0.938673	0.023389	13.61873	2.518731	15.82962	13.94167	47.25628	1.070786	1.068877	1203.742
50	30	1.3	7.66667	2.06425	15.82962	2.25625	13.56667	47.25628	641.1539	0.947094	0.01852	10.78366	2.213362	16.99992	15.26667	42.73114	1.07218	1.071474	1111.16
52.5	32.5	1.3	7.66667	2.25625	17.32092	2.4669	14.85242	42.73114	634.6607	0.961471	0.014376	8.371833	1.943326	18.02517	16.86692	38.56366	1.073766	1.072728	1022.468
55	35	1.3	7.66667	2.4669	18.92517	2.6927	16.23317	38.56366	626.3325	0.969563	0.01122	6.70402	1.680466	20.63667	18.17017	35.48692	1.075724	1.0745	954.7627
57.5	37.5	1.3	7.66667	2.6927	20.63667	2.93225	17.71042	35.48692	618.7184	0.975561	0.008301	5.175296	1.454	22.44692	19.75762	31.4378	1.077433	1.076228	895.3643
60	40	1.3	7.66667	2.93225	22.44692	3.1795	18.27342	31.4378	605.9138	0.980571	0.005984	3.484261	1.243681	24.35317	21.42462	28.44433	1.079189	1.077461	780.9879



Метанола-рапсовая эмульсия – соотношение 40 : 60

Исходные данные																	
ар	м	г	Рв	Тв	с	Рв	Рв	Тв	ΔT	G	H	Q	α	αв	αт	β1	
75	1.1	0.85	1.023	289	15	0.85	1.1	750	15	0.75	0.13	0.11	1	29.85	13.7	1.38	
Исходные данные			Исходные данные			Исходные данные			Исходные данные			Исходные данные			Исходные данные		
Q1	α	α2	Δ	A	B	Δ	A	B	Δ	A	B	Δ	A	B	Δ	A	B
4653	20	1.3	1.5	0.4	0.1	1.5	0.4	0.1	1.5	0.4	0.1	1.5	0.4	0.1	1.5	0.4	0.1

Расчет показателей сгорания

ар	м	г	Рв	Тв	с	Рв	Рв	Тв	ΔT	G	H	Q	α	αв	αт	β1
75	1.1	0.85	1.023	289	15	0.85	1.1	750	15	0.75	0.13	0.11	1	29.85	13.7	1.38

коэф. наклонения
iv 0.766776

температура газов в начале сжигания
Ta 318.3452

коэф. остат. газов
γ 0.030502

удельный объем рабочего тела в начале сжигания
Vв 1.097054

удельный объем рабочего тела в момент воспламенения
Vу 0.101701

давление рабочего тела в момент воспламенения
Py 19.95421

температура рабочего тела в момент воспламенения
Ty 734.0229

теоретически необходимое кол-во воздуха для полного сгорания 1 кг топлива
Lv 13.51014

общая удельная использованная теплота сгорания топлива
Qг 406.7257

максимальное значение действительного коэф. молекулярного изменения
βmax 1.014364

постоянная уравнения давления
E2 506.4523

ар	м	г	Рв	Тв	с	Рв	Рв	Тв	ΔT	G	H	Q	α	αв	αт	β1
75	1.1	0.85	1.023	289	15	0.85	1.1	750	15	0.75	0.13	0.11	1	29.85	13.7	1.38

коэф. наклонения
iv 0.766776

температура газов в начале сжигания
Ta 318.3452

коэф. остат. газов
γ 0.030502

удельный объем рабочего тела в начале сжигания
Vв 1.097054

удельный объем рабочего тела в момент воспламенения
Vу 0.101701

давление рабочего тела в момент воспламенения
Pу 19.95421

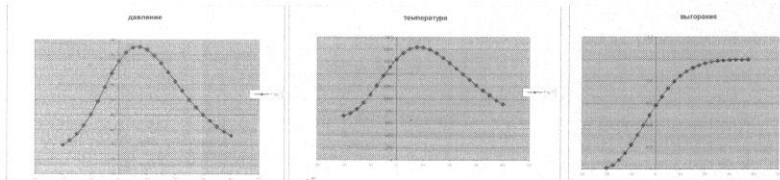
температура рабочего тела в момент воспламенения
Tу 734.0229

теоретически необходимое кол-во воздуха для полного сгорания 1 г топлива
Lв 13.51014

общая удельная использованная теплота сгорания топлива
Qг 406.7257

максимальное значение действительного коэф. молекулярного изменения
βmax 1.014364

постоянная уравнения давления
E2 506.4523



Метанола-рапсовая эмульсия — соотношение 50 : 50

Исходные данные													
Р ₀	Т ₀	г	Р ₀	Т ₀	г	С	Н	О	а	вв	нв	от	
1,033	288	16	0,85	1,1	750	15	0,76	0,13	0,11	1	28,85	1/3,7	1,36

Q1	g	n2
2617	20	1,3

A	A	B
1,5	0,6	0,5

g	h	l
79	1,1	0,85

Расчет показателей сгорания

КОД НА ПОЛНЕНИЕ
0 766776

Температура газов в начале сжатия

8000, OCTAT, F230B

увеличился объем рабочего тела и началось сжатие.

Va 1.097054

 $V_y = 0,107751$

Py 19.95421

Т_г 734,0229

постоянная уравнения давления

α	δ
0	0
2.5	0.00126
5	0.0048
7.5	0.0109
10	0.0193
12.5	0.03
15	0.0431
17.5	0.0566
20	0.0762
22.5	0.096
25	0.1179
27.5	0.1419
30	0.1679
32.5	0.1958
35	0.225
37.5	0.2571
40	0.2902
42.5	0.3249
45	0.3611
47.5	0.3988
50	0.4374
52.5	0.4773
55	0.5185

α	CITEI	α	α
0.333333	0.000078611	0.02046	0.50454
0.066667	0.003300808	-0.02342	0.97652
0.1	0.007943282	-0.04870	0.94170
0.333333	0.014533300	-0.10004	0.80474
0.066667	0.033327020	-0.06666	0.93333
0.1	0.034059520	-0.06666	0.93333
0.333333	0.040707034	-0.02518	0.97312
0.066667	0.082106541	-0.43041	0.95651
0.1	0.333331134	-0.50573	0.57727
0.333333	0.099999999	-0.00000	0.99999
0.066667	0.121161322	-0.04600	0.94378
0.1	0.145909600	-1.00851	0.36588
0.333333	0.172713048	-1.10311	0.30689
0.066667	0.001798784	-1.38461	0.28131
0.1	0.333334048	-0.00000	0.99999
0.333333	0.267811417	-1.34525	0.25015
0.066667	0.303380800	-0.26876	0.92376
0.1	0.342022078	-0.30033	0.69481
0.333333	0.302000000	-0.22316	0.67422
0.066667	0.428728423	-0.22316	0.67422
0.1	0.473830037	-0.26632	0.73333
0.333333	0.333333333	-0.06567	0.90640
0.066667	0.736444444	-0.06567	0.90640
0.1	0.573365651	-0.93338	0.06666

общая удельная использованная теплота сгорания топлива

Mac OS X 10.4.10 (Tiger) and 10.5.2 (Leopard) are supported.

α	β	γ	δ	ϵ	ζ	η	θ	ι	κ	λ	μ	ν	ξ	π	ρ	σ	τ	υ	ϕ	χ	ψ	ω
0	20	13	7.666667																			
2.5	-11.75	13	7.666667	1.5715	1.12312	0.83567	0.609897	0.56421	0.51878	0.400473	0.301603	0.267106	0.242655	0.217183	0.191677	0.166171	0.140665	0.115159	0.089653	0.064147	0.038641	0.013135
5	15	13	7.666667	1.4365	1.10312	0.83235	0.60729	0.56278	0.51727	0.400031	0.301140	0.266643	0.242192	0.216718	0.191212	0.165706	0.140200	0.114694	0.089188	0.063681	0.038175	0.012669
7.5	16.6667	13	7.666667	1.32325	1.07440	0.82281	0.60285	0.55834	0.51283	0.399584	0.300693	0.266196	0.241745	0.216270	0.190764	0.165258	0.139752	0.114246	0.088740	0.063234	0.037728	0.012162
10	15	13	7.666667	1.23	1.04646	0.81429	0.60000	0.55500	0.51000	0.39750	0.30000	0.26500	0.24000	0.21500	0.18999	0.16499	0.13949	0.11399	0.08849	0.06299	0.03749	0.011655
12.5	15	13	7.666667	1.14667	1.02000	0.80667	0.59778	0.55278	0.50778	0.39528	0.30000	0.26500	0.24000	0.21500	0.18999	0.16499	0.13949	0.11399	0.08849	0.06299	0.03749	0.011148
15	17.5	13	7.666667	1.07440	1.00000	0.80000	0.59500	0.55000	0.50500	0.39250	0.30000	0.26500	0.24000	0.21500	0.18999	0.16499	0.13949	0.11399	0.08849	0.06299	0.03749	0.010641
17.5	20.5	13	7.666667	1.00000	0.97500	0.80000	0.59333	0.54833	0.50333	0.39083	0.30000	0.26500	0.24000	0.21500	0.18999	0.16499	0.13949	0.11399	0.08849	0.06299	0.03749	0.010134
20	22.5	13	7.666667	0.93333	0.95000	0.80000	0.59167	0.54667	0.50167	0.38917	0.30000	0.26500	0.24000	0.21500	0.18999	0.16499	0.13949	0.11399	0.08849	0.06299	0.03749	0.009627
22.5	25.5	13	7.666667	0.86667	0.92500	0.80000	0.59000	0.54500	0.50000	0.38750	0.30000	0.26500	0.24000	0.21500	0.18999	0.16499	0.13949	0.11399	0.08849	0.06299	0.03749	0.009119
25	5	13	7.666667	0.80000	0.90000	0.80000	0.58833	0.54333	0.49833	0.38600	0.30000	0.26500	0.24000	0.21500	0.18999	0.16499	0.13949	0.11399	0.08849	0.06299	0.03749	0.008612
27.5	7.5	13	7.666667	0.73333	0.87500	0.80000	0.58667	0.54167	0.49667	0.38450	0.30000	0.26500	0.24000	0.21500	0.18999	0.16499	0.13949	0.11399	0.08849	0.06299	0.03749	0.008105
30	10	13	7.666667	0.66667	0.85000	0.80000	0.58500	0.54000	0.49500	0.38300	0.30000	0.26500	0.24000	0.21500	0.18999	0.16499	0.13949	0.11399	0.08849	0.06299	0.03749	0.007598
32.5	12.5	13	7.666667	0.60000	0.82500	0.80000	0.58333	0.53833	0.49333	0.38150	0.30000	0.26500	0.24000	0.21500	0.18999	0.16499	0.13949	0.11399	0.08849	0.06299	0.03749	0.007091
35	15	13	7.666667	0.53333	0.80000	0.80000	0.58167	0.53667	0.49167	0.38000	0.30000	0.26500	0.24000	0.21500	0.18999	0.16499	0.13949	0.11399	0.08849	0.06299	0.03749	0.006584
37.5	17.5	13	7.666667	0.46667	0.77500	0.80000	0.58000	0.53500	0.49000	0.37850	0.30000	0.26500	0.24000	0.21500	0.18999	0.16499	0.13949	0.11399	0.08849	0.06299	0.03749	0.006077
40	20	13	7.666667	0.40000	0.75000	0.80000	0.57833	0.53333	0.48833	0.37700	0.30000	0.26500	0.24000	0.21500	0.18999	0.16499	0.13949	0.11399	0.08849	0.06299	0.03749	0.005570
42.5	22.5	13	7.666667	0.33333	0.72500	0.80000	0.57667	0.53167	0.48667	0.37550	0.30000	0.26500	0.24000	0.21500	0.18999	0.16499	0.13949	0.11399	0.08849	0.06299	0.03749	0.005063
45	25	13	7.666667	0.26667	0.70000	0.80000	0.57500	0.53000	0.48500	0.37400	0.30000	0.26500	0.24000	0.21500	0.18999	0.16499	0.13949	0.11399	0.08849	0.06299	0.03749	0.004556
47.5	27.5	13	7.666667	0.20000	0.67500	0.80000	0.57333	0.52833	0.48333	0.37250	0.30000	0.26500	0.24000	0.21500	0.18999	0.16499	0.13949	0.11399	0.08849	0.06299	0.03749	0.004049
50	30	13	7.666667	0.13333	0.65000	0.80000	0.57167	0.52667	0.48167	0.37100	0.30000	0.26500	0.24000	0.21500	0.18999	0.16499	0.13949	0.11399	0.08849	0.06299	0.03749	0.003542
52.5	32.5	13	7.666667	0.06667	0.62500	0.80000	0.57000	0.52500	0.48000	0.36950	0.30000	0.26500	0.24000	0.21500	0.18999	0.16499	0.13949	0.11399	0.08849	0.06299	0.03749	0.003035
55	35	13	7.666667	0.00000	0.60000	0.80000	0.56833	0.52333	0.47833	0.36800	0.30000	0.26500	0.24000	0.21500	0.18999	0.16499	0.13949	0.11399	0.08849	0.06299	0.03749	0.002528
57.5	37.5	13	7.666667	0.06667	0.57500	0.80000	0.56667	0.52167	0.47667	0.36650	0.30000	0.26500	0.24000	0.21500	0.18999	0.16499	0.13949	0.11399	0.08849	0.06299	0.03749	0.002021
60	40	13	7.666667	0.13333	0.55000	0.80000	0.56500	0.52000	0.47500	0.36500	0.30000	0.26500	0.24000	0.21500	0.18999	0.16499	0.13949	0.11399	0.08849	0.06299	0.03749	0.001514

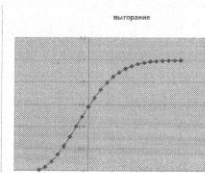
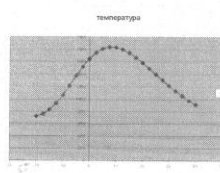
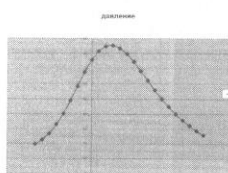


Таблица – Результаты расчета

Наименование параметра	Обозначение	Единица измерения	ДТ	МРЭ
1	2	3	4	5
Коэффициент наполнения $\eta_v = \left[\frac{P_A}{P_0} - \frac{1}{\xi - 1} \left(\frac{P_\Gamma}{P_0} - \frac{P_A}{P_0} \right) \right] \cdot \frac{T_0}{T_0 + \Delta T}$	η_v	-	0,767	0,767
Температура газов в начале такта сжатия $T_A = \frac{\xi \cdot P_A \cdot T_0 \cdot T_\Gamma}{P_\Gamma \cdot T_0 + \eta_v (\xi - 1) \cdot P_0}$	T_A	K	318	318
Коэффициент остаточных газов $\gamma = \frac{1}{(\xi - 1) \cdot \eta_v} \cdot \frac{P_\Gamma}{P_0} \cdot \frac{T_0}{T_\Gamma}$	γ	-	0,0355	0,0355
Удельный объем рабочего тела в начале сжатия $V_A = \frac{848}{\mu_B} \cdot \frac{T_A}{P_A}$	V_A	м ³ / кг	1,097	1,097
Давление рабочего тела в момент воспламенения $P_Y = \left(\frac{V_A}{V_Y} \right)^{n_1} \cdot P_A$	P_Y	МПа	1,99	1,99
Температура рабочего тела в момент воспламенения $T_Y = \left(\frac{V_A}{V_Y} \right)^{n_1 - 1} \cdot T_A$	T_Y	K	734	734

Продолжение таблицы

1	2	3	4	5
Удельный объем рабочего тела в момент воспламенения $V_Y = \frac{V_A}{\xi} \left(1 + \frac{\xi - 1}{2} \cdot \delta_Y \right)$	V_Y	$\text{м}^3 / \text{кг}$	0,108	0,108
Теоретически необходимое количество воздуха для полного сгорания одного кг метанола-рапсовой эмульсии $l_0 = \frac{1}{0,23} \times \left(\frac{8}{3} (a \cdot C^{PM} + b \cdot C^M) + 8(a \cdot H^{PM} + b \cdot H^M) - (a \cdot O^{PM} + b \cdot O^M) \right)$	l_0	кг	14,45	13,35
Общую удельную использованную теплоту сгорания $q_Z = \frac{\xi \cdot (a \cdot Q_{НИЗ}^{PM} + b \cdot Q_{НИЗ}^M)}{(1 + \gamma) \cdot \alpha \cdot l_0 + 1}$	q_Z	$\text{кДж} / \text{кг}$	415,6	341,9
Постоянная $E_2 = 0,854 \cdot \frac{\xi}{V_A} \cdot q_Z$	E	-	517,6	425,8
Максимальное значение действительного коэффициента молекулярного изменения $\beta_{MAX} = \frac{1 + \gamma + \frac{\mu_B \cdot \left(\frac{a \cdot H^{PM} + b \cdot H^M}{4} + \frac{a \cdot O^{PM} + b \cdot O^M}{32} \right)}{\alpha \cdot l_0}}{1 + \gamma}$	β_{MAX}	-	1,04	1,06
Действительный коэффициент молекулярного изменения $\beta = 1 + (\beta_{MAX} - 1) \cdot X$	β	-	0,049	0,058
Наибольшая быстрота нарастания давления $\omega = \frac{P_i - P_{i-1}}{2,5}$	ω	$\text{МПа} / ^\circ \text{н.к.в.}$	0,339	0,379

Продолжение таблицы

1	2	3	4	5
Давление рабочего тела для условного конца расширения $P_B = \left(\frac{V_Z}{V_A} \right)^{n_2} \cdot P_Z$	P_B	<i>МПа</i>	2,59	2,28
Температура рабочего тела для условного конца расширения $T_B = \left(\frac{V_Z}{V_A} \right)^{n_2-1} \cdot T_Z$	T_Y	<i>К</i>	919	705
Абсолютную работу газов в политропном процессе «чистого» сжатия $l_{AY} = \frac{1}{n_1 - 1} (P_Y \cdot V_Y - P_A \cdot V_A)$	l_{AY}	<i>кДж/кг</i>	$4,1 \cdot 10^4$	$4,1 \cdot 10^4$
Абсолютную работу газов процесса сжатия при сгорания $l_{YC} = \frac{(\xi - 1) \cdot V_A}{4\xi} \left[(\sigma_Y - \sigma_{Y+1}) \cdot P_Y + \sum_{i=Y}^{i=C-2} (\sigma_i - \sigma_{i+2}) \cdot P_{i+1} + \sigma_{C-1} \cdot P_C \right]$	l_{YC}	<i>кДж/кг</i>	$0,4 \cdot 10^4$	$0,4 \cdot 10^4$
Абсолютную работу газов в процессе расширения при сгорании $l_{CZ} = \frac{(\xi - 1) V_A}{4\xi} \left[\sigma_{C+1} \cdot P_C + \sum_{i=C}^{i=Z-2} (\sigma_{i+2} - \sigma_i) \cdot P_{i+1} + (\sigma_Z - \sigma_{Z-1}) \cdot P_Z \right]$	l_{CZ}	<i>кДж/кг</i>	$5,8 \cdot 10^4$	$5,0 \cdot 10^4$
Абсолютная работа газов в процессе «чистого» политропического расширения $l_{ZB} = \frac{1}{n_2 - 1} (P_Z \cdot V_Z - P_B \cdot V_B)$	l_{ZB}	<i>кДж/кг</i>	$7,4 \cdot 10^4$	$6,8 \cdot 10^4$
Работа теоретического цикла $l_{iTEOP} = l_{CZ} + l_{ZB} - l_{AY} - l_{YC}$	l_{iTEOP}	<i>кДж/кг</i>	$8,7 \cdot 10^4$	$7,3 \cdot 10^4$

Продолжение таблицы

1	2	3	4	5
Среднее индикаторное давление цикла $P_{iTEOP} = \frac{\xi}{\xi - 1} \cdot \frac{l_{iTEOP}}{V_A}$	P_{iTEOP}	<i>МПа</i>	0,848	0,712
Индикаторный коэффициент полезного действия цикла $\eta_{iTEOP} = \frac{\xi \cdot l_{iTEOP}}{427 \cdot q_Z}$	η_{iTEOP}	-	0,420	0,425
Удельный индикаторный расход топлива $g_{iTTEO} = \frac{632}{\eta_{iTTEO} \cdot (a \cdot Q_{НИЗ}^{PM} + b \cdot Q_{НИЗ}^M) \cdot 0,736}$	g_{iTEOP}	<i>г/(кВт·ч)</i>	206	265
Средняя скорость поршня $W_{П.СР.} = \frac{115 \cdot n}{3 \cdot 10^4}$	$W_{П.СР.}$	<i>м/с</i>	6,9	6,9
Среднее давление механических потерь $P_{М.П.} = 0,105 + 0,012 \cdot W_{П.СР.}$	$P_{М.П.}$	<i>МПа</i>	0,188	0,188
Среднее эффективное давление $P_e = P_i - P_{М.П.}$	P_e	<i>МПа</i>	0,660	0,524
Механический КПД $\eta_M = \frac{P_e}{P_i}$	η_M	-	0,778	0,736
Эффективный КПД $\eta_e = \eta_i \cdot \eta_M$	η_e	-	0,324	0,313
Эффективная мощность $N_e = \frac{P_e \cdot n \cdot 4,75}{120}$	N_e	<i>кВт</i>	47,0	37,3

ПРИЛОЖЕНИЕ «В»

УТВЕРЖДАЮ

Ректор ФГБОУ ВО

Тверская государственная
сельскохозяйственная академия
доктор военных наук, профессор

Балаян О.Р.

2017 г.



УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор

ОАО «Зверохозяйство Мелковское»

Конаковского района

Тверской области

Пивоварова А.В.

2017 г.



АКТ

внедрения законченных научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ от 13 мая 2017 года

Мы, нижеподписавшиеся, представитель ФГБОУ ВО «Тверская государственная сельскохозяйственная академия» старший преподаватель Иванов А.А. с одной стороны и представитель ОАО «Зверохозяйство Мелковское» Конаковского района Тверской области инженер-механик Максимович А.А. другой стороны составили настоящий акт о том, что в ОАО «Зверохозяйство Мелковское» Конаковского района проводились эксплуатационные испытания трактора Беларус 572 штатного и модернизированного исполнения. На трактор модернизированного исполнения была установлена двухтопливная система питания дизеля.

Список проведенных работ:

1. Произведена модернизация стандартной системы питания трактора Беларус 572 в соответствии с разработанной двухтопливной системой питания дизеля, которая дополнительно оснащена баком для метанола-рапсовой эмульсии емкостью 12 л и трехходовым краном.

2. Выполнены пуско-наладочные работы.

3. Произведен комплекс эксплуатационных испытаний трактора в составе пахотного агрегата (Беларус 572 + ПЛН 3-35) в заводском исполнении и в модернизированном варианте, оборудованного двухтопливной системой питания по топливо-энергетическим и экономическим показателям.

Технико-экономические показатели внедрения:

1. Двухтопливная система питания дизеля позволяет обеспечить замещение дизельного топлива, не требует значительных затрат на внесение конструктивных изменений в дизель и может быть реализована на дизелях, уже находящихся в эксплуатации.

2. Работа машинно-тракторного агрегата (Беларус 572 + ПЛН 3-35) производилась на дизельном топливе Л-0,2-62 ГОСТ 305-82 и на метанола-рапсовой эмульсии следующего состава: 27% масс. рапсового масла + 67% масс. метанола + 6 % масс. эмульгатора.

3. Результаты эксплуатационных испытаний трактора с дизелем Д-242 при работе в составе пахотного агрегата (Беларус 572 + ПЛН 3-35) показывают увеличение погектарного расхода топлива с 17,92 кг/га (на стандартном дизельном топливе) до 19,14 кг/га (на метанола-рапсовой эмульсии). Производительность за час чистой работы тракторного агрегата при работе на метанола-рапсовой эмульсии снижается до 1,01 га/ч с 1,03 га/ч при работе на стандартном дизельном топливе. Погектарные затраты на топливо снижаются с 227,6 руб./га при работе на стандартном дизельном топливе до 223,9 руб./га – на метанола-рапсовой эмульсии.

От ФГБОУ ВО «Тверская ГСХА»

старший преподаватель

 Иванов А.А.

От ОАО «Зверохозяйство Мелковское»

инженер-механик

 Максимович А.А.