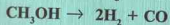
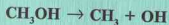


В. А. Лиханов

**СНИЖЕНИЕ ТОКСИЧНОСТИ
И УЛУЧШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ
ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТРАКТОРНЫХ ДИЗЕЛЕЙ
ПУТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТАНОЛА**



В.А. ЛИХАНОВ

С. 185-186

**СНИЖЕНИЕ ТОКСИЧНОСТИ И УЛУЧШЕНИЕ
ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ
ТРАКТОРНЫХ ДИЗЕЛЕЙ ПУТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ**

МЕТАНОЛА

В работе описаны результаты исследований по снижению токсичности и улучшению эксплуатационных показателей тракторных дизелей путем применения метанола. Показано, что применение метанола в качестве добавки к топливу позволяет снизить токсичность выхлопных газов и улучшить эксплуатационные показатели двигателя. Исследования проводились на тракторных дизелях различных моделей. Результаты показали, что применение метанола в количестве 10-15% от объема топлива приводит к снижению содержания вредных веществ в выхлопных газах и к повышению эффективности работы двигателя. Это связано с тем, что метанол способствует более полному сгоранию топлива и снижению содержания сажи и угарного газа в выхлопных газах. Кроме того, метанол обладает смазывающими свойствами, что способствует снижению износа деталей двигателя. Таким образом, применение метанола является эффективным способом снижения токсичности и улучшения эксплуатационных показателей тракторных дизелей.

Киров - 2001

Рецензенты: доктор технических наук, профессор В.Н.Ложкин
доктор технических наук, профессор М.Р.Петриченко

Лиханов В.А. Снижение токсичности и улучшение эксплуатационных показателей тракторных дизелей путем применения метанола. Киров: Вятская ГСХА, 2001. - 212 с.

Монография академика Российской Академии транспорта доктора технических наук, профессора Лиханова В.А. посвящена вопросам снижения токсичности и дымности тракторных дизелей малой размерности путем применения метанола в качестве альтернативного топлива.

Рассмотрены перспективы и основные направления научных исследований по применению метанола в дизелях. Предложены и исследованы способы подачи метанола в дизели с целью улучшения их эксплуатационных показателей, в первую очередь снижения токсичности и дымности отработавших газов, замены традиционного нефтяного топлива. Рассмотрены вопросы касаются изменения конструкций систем питания, особенностей работы топливной аппаратуры и регулирования топливоподдачи при работе дизелей на метаноле. Особое внимание уделено исследованиям работы тракторных дизелей на метаноле и метаноле-топливных эмульсиях, их влиянию на процесс сгорания, характеристики тепловыделения, эффективные показатели, токсичность и дымность их отработавших газов.

Предназначена для научных, инженерно-технических работников и аспирантов, занимающихся исследованиями в области применения альтернативных топлив в двигателях внутреннего сгорания.
Таблиц - 20. Иллюстраций - 72. Приложений - 3. Библиография - 232 названия.

С 3703030000-060 - Без объявления
004351-2001

ISBN 5 - 7352 - 0060 - 7

© В.А.Лиханов, 2001

СОДЕРЖАНИЕ

СОДЕРЖАНИЕ	
ОСНОВНЫЕ УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ	3
ВВЕДЕНИЕ	6
1. СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ	8
1.1. Социально-экологические аспекты влияния автотракторных двигателей на окружающую среду	12
1.2. Снижение токсичности и улучшение эксплуатационных показателей тракторных дизелей путем применения метанола	22
1.2.1. Методы применения метанола для снижения токсичности и улучшения эксплуатационных показателей тракторных дизелей	22
1.2.2. Основные направления научных исследований по применению метанола в качестве топлива для дизелей	26
1.2.3. Применение метанола в качестве топлива в РФ и за рубежом	30
1.2.4. Влияние применения метанола на снижение токсичности и улучшение эксплуатационных показателей тракторных дизелей	38
1.2.5. Влияние применения метанола на процессы сгорания и тепловыделение в дизелях	49
2. НЕКОТОРЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТАНОЛА В ТРАКТОРНЫХ ДИЗЕЛЯХ	55
2.1. Методика расчета периода задержки воспламенения в дизеле при работе на МТЭ	55
2.2. Разработка методики применения симплекс-решетчатых планов Шеффе при совместном использовании различных альтернативных топлив в тракторных дизелях	62
3. МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ПРИМЕНЕНИЮ МЕТАНОЛА В ТРАКТОРНЫХ ДИЗЕЛЯХ	73
3.1. Методика исследований тракторных дизелей при применении метанола на впуске и с системой двойной топливоподдачи	73
3.1.1. Общая методика исследований тракторных дизелей при применении метанола на впуске и с системой двойной топливоподдачи	73
3.1.2. Особенности методики исследований тракторных дизелей при применении метанола на впуске	77
3.1.3. Особенности методики исследований тракторных дизелей при применении метанола и воды на впуске на основе теории планирования эксперимента	79
3.1.4. Особенности методики исследований тракторных дизелей при применении метанола с системой двойной топливоподдачи	82

3.1.5.	Особенности методики исследований тракторных дизелей при применении метанола с системой двойной топливopодачи на основе теории планирования эксперимента	85
3.2.	Особенности методики исследований тракторных дизелей при применении метанола-топливных эмульсий	88
3.2.1.	Общая методика исследований тракторных дизелей при применении метанола-топливных эмульсий	88
3.2.2.	Особенности методики исследований стабильности метанола-топливных эмульсий с различными поверхностно-активными веществами	90
3.2.3.	Особенности методики исследований тракторных дизелей путем применения метанола-топливных эмульсий	92
3.3.	Экспериментальные установки, приборы и оборудование для исследования применения метанола	94
3.3.1.	Особенности экспериментальной установки, приборов и оборудования для исследования применения метанола на впуске дизеля 2Ч 10,5/12,0	95
3.3.2.	Особенности экспериментальной установки, приборов и оборудования для исследования применения метанола с системой двойной топливopодачи дизеля 2Ч 10,5/12,0	95
3.3.3.	Особенности экспериментальной установки, приборов и оборудования для исследования применения метанола-топливных эмульсий на дизеле 2Ч 10,5/12,0	97
4.	СНИЖЕНИЕ ТОКСИЧНОСТИ И УЛУЧШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТРАКТОРНЫХ ДИЗЕЛЕЙ ПУТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТАНОЛА	100
4.1.	Снижение токсичности и улучшение эксплуатационных показателей тракторного дизеля 2Ч 10,5/12,0 путем применения метанола на впуске	100
4.1.1.	Влияние применения метанола на впуске на регулировки, рабочий процесс и тепловыделение тракторного дизеля 2Ч 10,5/12,0	100
4.1.2.	Снижение токсичности и улучшение эксплуатационных показателей тракторного дизеля 2Ч 10,5/12,0 при применении метанола на впуске	106
4.2.	Снижение токсичности и улучшение эксплуатационных показателей тракторного дизеля 2Ч 10,5/12,0 при применении метанола с системой двойной топливopодачи	114
4.2.1.	Влияние применения метанола с системой двойной топливopодачи на регулировки, рабочий процесс и тепловыделение тракторного дизеля 2Ч 10,5/12,0	114
4.2.2.	Снижение токсичности и улучшение эксплуатационных	127

	показателей тракторного дизеля 2Ч 10,5/12,0 при применении метанола с системой двойной топливopодачи	
5.	СНИЖЕНИЕ ТОКСИЧНОСТИ И УЛУЧШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТРАКТОРНЫХ ДИЗЕЛЕЙ ПУТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТАНОЛА-ТОПЛИВНЫХ ЭМУЛЬСИЙ	137
5.2.	Влияние добавок поверхностно-активных веществ на стабильность метанола-топливных эмульсий	137
5.2.	Исследование стабильности МТЭ с сульфаниламидом к седиментации и коалесценции	142
5.3.	Разработка метанола-топливных эмульсий	145
5.4.	Влияние применения МТЭ на регулировки, рабочий процесс и тепловыделение тракторного дизеля 2Ч 10,5/12,0	145
5.5.	Снижение токсичности и улучшение эксплуатационных показателей тракторного дизеля 2Ч 10,5/12,0 путем применения МТЭ	153
6.	СНИЖЕНИЕ ТОКСИЧНОСТИ И УЛУЧШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТРАКТОРНОГО ДИЗЕЛЯ 2Ч 10,5/12,0 ПУТЕМ СОВМЕСТНОГО ПРИМЕНЕНИЯ МЕТАНОЛА И ВОДЫ НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ ПЛАНИРОВАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА	163
6.1.	Снижение токсичности и улучшение эксплуатационных показателей тракторного дизеля 2Ч 10,5/12,0 путем совместной подачи метанола и воды во впускной трубопровод на основе теории планирования эксперимента	163
6.2.	Снижение токсичности и улучшение эксплуатационных показателей тракторного дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с системой двойной топливopодачи и подачей воды во впускной трубопровод на основе теории планирования эксперимента	172
7.	РАЗРАБОТКА И СОЗДАНИЕ МАКЕТНОГО ОБРАЗЦА ТРАКТОРА Т-25А ДЛЯ РАБОТЫ НА МЕТАНОЛЕ	181
	ЛИТЕРАТУРА	
	ПРИЛОЖЕНИЕ 1	182
	ПРИЛОЖЕНИЕ 2	198
	ПРИЛОЖЕНИЕ 3	201
		203

ОСНОВНЫЕ УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

1. n - частота вращения коленчатого вала дизеля, мин⁻¹
2. p_e - среднее эффективное давление, МПа
3. N_e - эффективная мощность дизеля, кВт
4. M_e - крутящий момент дизеля, Н·м
5. G_a - часовой расход воздуха, кг/ч
6. η_v - коэффициент наполнения
7. G_f - часовой расход топлива, кг/ч
8. α - коэффициент избытка воздуха
9. g_e - удельный эффективный расход топлива, г/кВт·ч
10. η_e - эффективный коэффициент полезного действия
11. t - температура отработавших газов, °С
12. φ - угол поворота коленчатого вала, градус
13. $\Theta_{\text{впр}}$ - установочный угол опережения впрыскивания топлива, градус
14. τ - период задержки воспламенения
15. p_z - максимальное давление сгорания в цилиндре, МПа
16. p_c - давление конца сжатия, МПа
17. $\frac{dp}{d\varphi}$ - скорость нарастания давления в цилиндре, МПа/градус
18. χ ; x - относительное тепловыделение от сгорания топлива
19. χ_c ; x_c - активное тепловыделение
20. $\frac{d\chi}{d\varphi}$; $\frac{dx}{d\varphi}$ - относительная скорость активного тепловыделения, 1/градус
21. T - средняя температура цикла в цилиндре, К
22. $G_{\text{дт}}$, $G_{\text{мет}}$, $G_{\text{в}}$ - часовые расходы дизельного топлива, метанола и воды, кг/ч
23. NO_x - оксиды азота, мг/л, ppm, %

24. CO - оксид углерода, мг/л, ppm, %
25. CO_2 - диоксид углерода, мг/л, ppm, %
26. C_nH_m , C_mH_n - суммарные углеводороды; мг/л, ppm, %
27. C , K - сажа, ед. по шкале Боша; %
28. ДТ - дизельное топливо
29. ОГ - отработавшие газы
30. ЦЧ - цетановое число
31. ДВС - двигатель внутреннего сгорания
32. КС - камера сгорания
33. КПД; к.п.д. - коэффициент полезного действия
34. в.м.т. - верхняя мертвая точка
35. н.м.т. - нижняя мертвая точка
36. МТЭ - метано-топливная эмульсия
37. ОКР - опытно-конструкторская работа
38. НИИР - научно-исследовательская работа
39. ПАВ - поверхностно-активные вещества
40. ПАУ - полициклические ароматические углеводороды
41. ПДК - предельно допустимая концентрация
42. СНГ - содружество независимых государств
43. ТА - топливная аппаратура
44. ТНВД - топливный насос высокого давления

ВВЕДЕНИЕ

Двигатели тракторов и автомобилей, представляющие основу мобильного обеспечения сельскохозяйственного производства Российской Федерации и стран СНГ, являются одним из основных источников загрязнения окружающей среды и потребителями моторных нефтяных топлив. Так, автотранспорт в странах СНГ потребляет в год около 60 млн. тонн топлива, только в сельском хозяйстве этих стран находится около 3 млн. тракторов и более миллиона комбайнов. При этом необходимо иметь в виду, что все тракторные и комбайновые двигатели - дизели.

В связи с тем, что дизели, кроме определенного экологического преимущества (меньшая эквивалентная токсичность в 1,5...2 раза по сравнению с карбюраторными двигателями), имеют высокую топливную экономичность (на 25...30%), этот тип ДВС необходимо рассматривать как наиболее перспективный практически во всех отраслях хозяйства.

По ориентировочной оценке специалистов суммарная масса выбросов всех дизелей, находящихся в странах СНГ, составляет 14...18 млн. тонн в год. Причисляемый ими суммарный экологический ущерб для окружающей среды оценивался в 3...4 млрд. руб. в год в ценах 1984 года.

В ОГ дизелей содержится несколько сотен различных компонентов, многие из которых токсичны. Они попадают на растения, почву, вдыхаются животными и людьми, снижают урожайность, ухудшают качество сельскохозяйственной продукции, оказываются в организмах животных и людей, в потребляемой ими пище.

Анализ состояния проблемы антропогенного и техногенного воздействия транспортных средств на окружающую среду позволяет сделать вывод, что при существующих тенденциях в развитии транспортного комплекса России (технического уровня тракторов и автомобилей, качества

топлива и масел, состояннво работ по контролю и уменьшению предных выбросов) его негативное воздействие на окружающую среду через 5...10 лет значительно усилится.

Как и за рубежом, основными направлениями по снижению загрязнения атмосферного воздуха от вредных выбросов тракторов и автомобилей в сельском хозяйстве России будут: улучшение качества ДВС и их социально-экологических характеристик, снижение расхода топлива, ускоренное развитие транспортных средств, работающих на альтернативных моторных топливах неафтяного происхождения и имеющих улучшенные эксплуатационные показатели.

Крайне неблагоприятная экологическая обстановка во многих регионах, международные обязательства России по охране окружающей среды, определяют важность работ, направленных на ее оздоровление, в первую очередь на снижение загрязнения атмосферного воздуха от вредного выброса транспортных средств.

Отмечено, что на долю ДВС приходится более 50% глобального и до 80...90% регионального загрязнения воздуха, причем доля выбросов в локальных участках может значительно превышать средние значения по городу, региону, что приводит к созданию там экологически экстремальных условий.

Вместе с тем весьма актуальным для хозяйства России является проблема экономии нефтяного моторного топлива, исследование возможности его замены на альтернативные виды топлива неафтяного происхождения и использование их в двигателях транспортных средств.

При этом особый интерес представляют задачи одновременного улучшения экологических и эффективных показателей дизелей транспортных средств.

В связи с такой постановкой проблемы, Указом Президента Российской Федерации от 13 июня 1996 года №884 «О доктрине развития россий-

ской науки» и постановлением Правительства Российской Федерации от 17 апреля 1995 года № 360 «О государственной поддержке развития науки и научно-технических разработок», решением Правительственной комиссии по научно-технической политике (протокол заседания от 28 мая 1996 года № 2, ВК-П27-П18-36пр) разработка транспортных средств на альтернативных видах топлива включена в перечень критических технологий федерального уровня. Это говорит о практической значимости технологии, ее влияния на развитие общественного производства. Кроме того, принят Указ Президента Российской Федерации от 7 мая 1995 года № 472 «Об основных направлениях энергетической политики и структурной перестройки топливно-энергетического комплекса Российской Федерации на период до 2010 года».

Анализ передовых направлений научных исследований, проведенных за рубежом и в странах СНГ, посвященных данной проблеме, позволяет сделать вывод, что для практической реализации в двигателях транспортных средств и, в первую очередь, в дизелях, возможно использование такого альтернативного топлива, как метиловый спирт (метанола), который имеет нефтяное происхождение и может улучшить эксплуатационные показатели дизелей и при этом расширить ресурсы моторного топлива.

В ряде институтов бывшего СССР в разные годы велись работы по использованию в дизелях альтернативных топлив нефтяного происхождения, в том числе метанола и здесь важное место занимают труды: Абрамова С.А., Алексеева Д.Г., Алейникова Ю.П., Арсенова Е.Е., Балакина В.И., Вишпера А.Б., Гладких В.А., Звонова В.А., Ксенофонтова И.В., Лернера М.О., Луканина В.М., Луновой В.В., Лушко В.А., Малова Р.В., Махова В.З., Носенко Н.В., Обеляницкого А.М., Патрахальцева Н.Н., Попова В.М., Попова В.П., Ратыковой М.Ю., Смаля В.Ф., Хачияна А.С. и других.

Углубленный анализ результатов научных исследований показывает, что зарубежными учеными и отечественными исследователями разработаны предпосылки, проведены глубокие экспериментальные работы на базе высококачественной измерительной техники по экологическим исследованиям дизелей. Вместе с тем необходимо отметить, что исследования по применению альтернативных топлив проводились без должного учета взаимосвязи экологических и эффективных показателей дизелей, практически нет работ по применению альтернативных топлив в тракторных дизелях малой размерности, отсутствуют работы по созданию систем регулирования подачи метанола и метанола-топливных эмульсий, не разработаны системы эффективного приготвления эмульсий на основе метанола, не исследованы эффективные эмульгаторы и новые МТЭ, глубоко не исследованы способы подачи метанола в дизели и т.д. Мало работ, заканчивающихся созданием макетных образцов и проведением функциональных испытаний.

Восполнить этот пробел, особенно в части разработки и использования метанола и метанола-топливных эмульсий в тракторных дизелях малой размерности, должна настоящая монография.

Она посвящена перспективам применения метанола в дизелях, анализу основных свойств разрабатываемых метанола-топливных эмульсий, созданию и исследованию стабильных топливных эмульсий с улучшенными свойствами. Рассмотрены вопросы касающиеся схем использования метанола и приготовления эмульсий, особенностей работы топливной аппаратуры и регулирования топливopодачи на метаноле. Особое внимание уделено работе тракторных дизелей на метаноле и метанола-топливных эмульсиях, их влиянию на процесс сгорания, характеристики тепловыделения, эффективные показатели, токсичность и дымность их отработавших газов.

1. СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ

1.1. Социально - экологические аспекты влияния автотракторных двигателей на окружающую среду

Ежегодно в атмосферу Земли поступает большое количество токсичных веществ, в том числе 700 млн. тонн оксида углерода, 150 млн. тонн оксидов азота, 200 млн. тонн твердых частиц, 200 млн. тонн диоксида серы. Значительная часть этих веществ выбрасывается автотранспортом [1...4].

В Мюнхене, в ноябре 1978 г., была подписана международная конвенция о трансграничном загрязнении воздуха. Там же принят Протокол по сокращению выброса и трансграничного переноса соединений серы к 1993 г. по сравнению с 1980 г. на 30%. Существовавший тогда СССР, в соответствии с Протоколом, должен был сократить выбросы диоксида серы (сернистого газа) на 30% к 1993 г., Франция, Финляндия, ФРГ - на 50% и более к 1990 г., Канада - на 65% к 1994 г., Швеция - на 65% к 1995 г. Подписанный в 1988 г. Софийский Протокол предусматривает стабилизацию выброса оксидов азота [5].

В последнее время стандарты на выбросы вредных веществ с ОГ автотранспорта постоянно ужесточаются. Самые строгие нормативы на содержание оксидов азота и углеводородов в ОГ бензиновых ДВС, оксидов азота и твердых частиц в ОГ дизелей уже приняты в Японии, США (особенно в штате Калифорния), Швейцарии и других странах [6]. В 1992...1994 г.г. многократное ужесточение норм выброса вредных веществ продолжалось в странах Северной Америки, Японии, большинстве стран Европы, в наиболее развитых странах Юго-Восточной Азии [5].

В середине 70-х годов ежегодный ущерб от загрязнения окружающей среды оценивался в Великобритании в 0,8 млрд. долл., в Канаде - в 2,5 млрд. долл., во Франции - 3 млрд. долл., в США в 25 млрд. долл., в СССР в 25...30 млрд. руб. Сейчас, наряду с широко признанными отрицательными сторонами

загрязнения атмосферы вредными веществами из ОГ, надвигается новая проблема - "парниковый эффект" [5].

США в 1975 г. израсходовали на охрану природы 15 млрд. долл., из них на охрану атмосферного воздуха - 4 млрд. долл. В СССР было, соответственно, израсходовано 1,5 млрд. руб., из них 100 млн. руб. - на охрану атмосферного воздуха. В 1988 г. общие природоохранные расходы США составили 80 млрд. долл., Япония - 1,3 триллиона Yen. В 1989 г. эти расходы в СССР составили 3 млрд. руб. В развитых странах природоохранные вложения составляют около 5% валового национального продукта [3, 5, 6].

В результате предпринятых усилий выпущенные в 1985 г. в США автомобили выбрасывали оксидов азота на 75% меньше, чем автомобили выпуска 1968 г. Отказ от использования этилированного бензина позволил дополнительно уменьшить вредное воздействие ОГ в Японии, США, ФРГ, Бразилии и других странах [5]. Темпы сокращения выбросов вредных веществ с ОГ автотранспорта в странах СНГ заметно ниже, что отражает и долю финансирования в них природоохранных мероприятий. Вместе с тем проблема защиты атмосферы от вредного воздействия ОГ в наших странах стала одной из самых серьезных.

Движение автомобильного транспорта и функционирование промышленных предприятий неизбежно сопровождается загрязнением атмосферы выбросами токсичных газообразных и твердых веществ, транспортным шумом, тепловым, электромагнитным излучением движущихся автомобилей, вибрацией зданий и сооружений. Масштабы загрязнения атмосферного воздуха в СССР и США в 1980...1987 г.г. даны в табл. 1.1 [5].

Отработавшие газы ДВС являются одним из основных источников загрязнения атмосферы. По зарубежным данным общий ущерб от этого загрязнения в развитых странах составляет десятки миллиардов долларов ежегодно.

Проблема загрязнения атмосферы приобрела серьезную социальную и политическую окраску.

Таблица 1.1

Суммарные выбросы вредных веществ предприятиями промышленности и автотранспортом, млн. тонн в год

ВЕЩЕСТВО	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987
СССР								
Твердые частицы (ТЧ)	15,8	15,7	16,0	16,4	16,5	16,6	16,2	15,4
Сернистый газ (SO ₂)	19,9	19,5	19,8	20,3	19,7	19,6	18,7	18,6
Оксид углерода (CO)	48,4	47,2	49,5	48,8	46,0	44,2	44,5	44,6
Оксиды азота (NO _x)	5,5	5,3	5,8	5,9	5,7	5,7	6,1	6,2
Углеводороды (C ₂ H ₄)	15,2	15,3	15,4	15,0	14,6	14,8	15,2	14,8
Свинца (без учета выбросов автотранспортом)	0,013	0,012	0,013	0,012	0,010	0,010	0,010	0,009
ИТОГО (без свинца)	104,8	103,0	106,5	106,4	102,5	100,9	100,7	99,6
США								
Твердые частицы	8,5	8,0	7,1	7,1	7,4	7,0	6,8	7,0
Сернистый газ	23,4	22,6	21,4	20,7	21,5	21,1	20,7	20,4
Оксид углерода	77,0	74,4	69,4	71,3	68,7	64,6	61,1	61,4
Оксиды азота	20,4	20,4	19,6	19,0	19,7	19,8	19,3	19,5
Легучие органические соединения	22,3	21,0	19,7	20,4	21,5	20,1	19,3	19,6
Свинец	0,07	0,056	0,055	0,046	0,04	0,04	0,009	0,008
ИТОГО (без свинца)	151,6	146,4	137,2	138,5	138,8	132,6	127,2	127,9

Характер вредных выбросов с отработавшими газами ДВС в СССР в 1987 г. дан в табл. 1.2 [5].

Масштаб вредного воздействия ОГ в настоящее время вызывает во всем мире обоснованное беспокойство. В крупных городах, промышленных цен-

трах автотранспорт является основным источником загрязнения атмосферного воздуха.

Таблица 1.2

Выбросы вредных веществ автотранспортом в 1987 году

Характеристика	Всего	Оксиды азота	Оксид углерода	Углеводороды
Выброс, млн. т	36,12	1,76	28,59	5,81
Доля автотранспорта в суммарных выбросах, %	37	28	66	24

Автотранспорт в странах СНГ потребляет в год около 60 млн. тонн топлива, за один год расходуется 60 млн. штук шин; на производство автомобилей ежегодно тратится 10 млн. тонн металла, что приводит к дополнительному выбросу вредных веществ промышленными предприятиями (производителями шин и металла). По результатам обобщения данных государственного учета выбросов в атмосферу загрязняющих веществ установлено, что в 190 городах бывшего СССР одним из основных источников загрязнения воздушного бассейна (более 50% выбросов) является автотранспорт [5]. В 1989 г. выбросы вредных веществ автотранспортом в целом по СССР составили 35,5 млн. т (в 1988 г. - 36 млн. т). Несмотря на принимаемые меры, объем этих выбросов снижается по годам незначительно. Более того, доля этих выбросов за 10 лет увеличилась с 35% почти до 38% общего объема, что во многом объясняется целым рядом причин.

В первую очередь это качественное отставание системы стандартов и отсутствие региональных норм; низкое качество топлив и масел; отставание автомобильной и тракторной промышленности в разработке и внедрении комплекса мероприятий, снижающих выбросы вредных веществ автомобилями и тракторами; несоответствие существующей инфраструктуры эксплуатации ав-

тотранспортных средств современным требованиям диагностики, контроля, технического обслуживания и ремонта; отсутствие в законодательстве положений, стимулирующих разработку и внедрение малотоксичных двигателей, средств снижения токсичности ОГ, неэтилированных бензинов и других экологически более чистых видов топлива, масел необходимого качества. Отсутствуют также стимулы повышения культуры эксплуатации автотранспорта [5...7].

В настоящее время в Российской Федерации действует более 30 стандартов по охране природы в той или иной мере действующих на предприятия автотранспорта, но не более восьми из них регулируют токсичность двигателей [8...17]. И тем не менее, со времени введения первого стандарта в 1970 г. величина суммарного выброса вредных веществ отечественными автомобилями (с учетом токсической значимости компонентов ОГ) снижена более чем в два раза, в том числе по оксиду углерода в четыре раза, углеводородам в 2,5...3 раза [5...7].

За последние 10 лет выбросы вредных веществ выпускаемыми в странах бывшего СССР грузовыми автомобилями, автобусами и сельскохозяйственной техникой в среднем уменьшались в два раза. Это достигнуто посредством совершенствования рабочего процесса дизелей, перевода работы дизелей на газообразное топливо, внедрения новых систем топливopодачи, например, топливных насосов с увеличенным давлением впрыскивания, организации сто-процентного контроля токсичности выпускаемых на заводах автомобилей и других мероприятий [8...17]. Характер изменения удельных выбросов вредных веществ дизелями, выпускаемыми основными заводами, представлен на рис. 1.1 [5].

Вместе с тем динамика производства дизелей в западных странах по данным фирмы "Бош" показывает их неуклонный рост рис. 1.2 [5]. Дизели составляют значительную часть общего числа двигателей транспортных средств и в

РФ. Вместе с тем, если данные о вредных выбросах и их воздействиях на окружающую среду автомобильных дизелей широко известны, то особый интерес представляет информация в отношении тракторных и комбайновых дизелей [18...22]. Они составляют значительную долю общего числа двигателей транспортных средств.

Так в настоящее время в РФ и других странах бывшего СССР имеется около 3 млн. тракторов, около одного миллиона зерновых и 500 тыс. прочих комбайнов. Указанный парк распределяется следующим образом: в сельском хозяйстве используются все комбайны и около 70% тракторов. Оставшиеся 30% тракторов, в том числе со смонтированными на них специальным строительно-дорожным оборудованием, - в других отраслях народного хозяйства.

При оценке выбросов вредных веществ с ОГ тракторных и комбайновых двигателей необходимо учитывать указанные выше особенности. Все отечественные тракторные и комбайновые двигатели - дизели. Бензиновые двигатели используются только в качестве пусковых. Номенклатура машин, снабженных тракторными и комбайновыми двигателями, а также вид и перечень выполняемых ими работ более разнообразны, чем аналогичные показатели автомобильного транспорта. Например, в народном хозяйстве используются более 50 базовых моделей гусеничных и колесных тракторов, на основе которых создано значительное количество модификаций посредством внесения дополнительного специального оборудования, что позволяет обеспечить потребности в широком ассортименте дорожных, мелкоритивных, горных, подземных, строительных и других машин и оборудования. Принятые по результатам многочисленных исследований удельные и усредненные выбросы тракторных и комбайновых дизелей приведены в табл. 1.3 и 1.4 [5]. Следует отметить, что только в странах бывшего СССР введены с 1980 г. нормы, ограничивающие динамику и вредные выбросы ОГ тракторных и комбайновых двигателей.

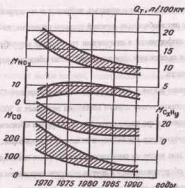


Рис. 1.1. Диапазоны изменения удельных выбросов нормируемых вредных веществ автомобилями и тракторами с двигателями ЯМЗ, КрМАЗ, ЗИЛ, ЧТЗ, АМЗ, ММЗ, ВТЗ, ХТЗ и др.: М - удельный выброс вредных веществ, в г/(кВт·ч); (С_Н, Н₂ - углеводороды; NO_x - оксиды азота; ТЧ - твердые частицы)

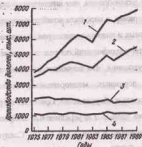


Рис. 1.2. Динамика производства дизельных двигателей в странах Западе: 1 - легковые автомобили; 2 - грузовые автомобили; 3 - тракторы; 4 - стационарные ДВС

Внедрение указанных норм позволило снизить суммарные выбросы основных вредных веществ в ОГ двигателей на 15...20% [5...7].

Усилия заводов и НИИ направлены на разработку средств снижения токсичности ДВС, как посредством совершенствования рабочего процесса, перевода ДВС для работы на альтернативных топливах, повышения качества применяемых топлив и смазок, так и созданием систем снижения токсичности и дымности ОГ всей выпускаемой автотракторной техники. Основные методы снижения токсичности и дымности отработавших газов автотранспортных ДВС приведены на рис. 1.3 [5...7, 23...28].

Таблица 1.3

Удельные выбросы вредных веществ с ОГ дизелей на единицу израсходованного топлива

Компонент	Оксиды азота	Оксид углерода	Углеводороды	Оксиды серы	Твердые частицы
Удельный выброс вредных веществ, кг/кг топлива	$5 \cdot 10^{-2}$	$2,7 \cdot 10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-3}$	$7 \cdot 10^{-3}$

Таблица 1.4

Усредненные суммарные годовые вредные выбросы дизелями за 1990 год

Вид машины	Выбросы вредных веществ, млн. т				
	Оксиды азота	Оксид углерода	Углеводороды	Оксиды серы	Твердые частицы
Тракторы в сельском хозяйстве	1,50	0,8	0,15	0,10	0,06
Прочие тракторы и машины	1,20	0,64	0,12	0,08	0,03
Комбайны	0,30	0,16	0,03	0,01	0,01
ИТОГО	3,00	1,60	0,30	0,19	0,10

С учетом реального ужесточения норм на токсичность и дымность ОГ ДВС за рубежом, в Российской Федерации продолжают работу по программе

"Высокоскоростной экологически чистый транспорт", проводимые с целью коренного (в 4...8 раз) улучшения социально-экологических показателей перспективной автомобильной техники путем принятия принципиально новых технических решений. Динамика изменения токсичности и дымности ОГ перспективных автомобилей разрабатываемых НАМИ, МАДИ и другими институтами совместно с автомобильными заводами с расчетом организации производства в 1999...2000 г.г. конкурентоспособных автомобилей приведена в табл. 1.5 [5].

Таблица 1.5

Динамика изменения токсичности и дымности ОГ перспективных автомобилей

Тип ДВС	Вредные выбросы	Изменение объемов вредных выбросов, %			
		1986	1990...1991	1992...1993	1994...1995
ДИЗЕЛИ	Оксиды азота	100	100	80	15
	Оксид углерода	100	30	20	15
	Углеводороды	100	35	26	15
	Твердые частицы	100	30	20	10
	Суммарные	100	42	30	15
	Средства снижения токсичности	-	КНГ, СФ	КНГ, СФ, РОГ	КНГ, СФ, РОГ, мало-токсичный рабочий процесс

КНГ - каталитический нейтрализатор-двуштанг;

СФ - сажевый фильтр;

РОГ - рециркуляция отработавших газов

Анализ состояния проблемы загрязнения атмосферного воздуха автотранспортом у нас и за рубежом позволяет сделать вывод, что при сохранении существующих тенденций в развитии всех составляющих автотранспортного комплекса стран СНГ (технического уровня машин, качества топлива и масел,

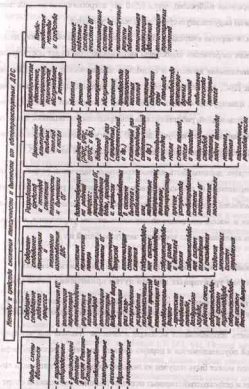


Рис. 1.3. Схема основных штирпелити и мортуритей по снижению токсичности и дымности ОГ автотранспортных ДВС

методов организации перевозок и движения, состояния работ по контролю и уменьшению вредных выбросов), через 5...10 лет антропогенное воздействие автотранспорта на окружающую среду значительно усилится.

За рубежом, в первую очередь в США, Японии и Западной Европе, дальнейшее снижение загрязнения атмосферы автотранспортом будет достигаться посредством повышения качества и социально-экологических характеристик автомобилей и ДВС, снижения расхода топлива автомобилями (по нормам CAFE в США планируется снизить его на 40%), ускоренного развития электромобилей и автомобилей, работающих на альтернативных топливах, изъятия из эксплуатации автомобилей выпуска до 1983 г., регулирования цен на топливо, разработки и внедрения интеллектуальной транспортной системы [5...7].

В нашей стране должны быть первоочередными задачами: разработка и внедрение совершенных (с позиций социальной экологии и расхода топлива) моделей автомобилей и двигателей, систем очистки ОГ, более "экологически чистых" топлив и масел, внедрение электронных систем управления, машин, работающих на альтернативных топливах, электромобилей и т.д.

1.2. Снижение токсичности и улучшение эксплуатационных показателей тракторных дизелей путем применения метанола

1.2.1. Методы применения метанола для снижения токсичности и улучшения эксплуатационных показателей тракторных дизелей

Возможность использования метанола в качестве топлива для тракторных дизелей обуславливается в первую очередь тем, что в условиях дефицита ДТ метанол может быть получен из любого газообразного топлива, а также из пищевых и сельскохозяйственных отходов. Метанол (метиловый спирт - CH_3OH) можно отнести к возобновляемому источнику энергии, его в значительных количествах синтезируют из CO и H_2 ($\text{CO} + 2\text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_3\text{OH}$).

Метанол - весьма токсичное соединение, так как в организме человека превращается в формальдегид и муравьиную кислоту. Применению в дизелях метанола в чистом виде препятствует ряд обстоятельств. В первую очередь это его отличие от топлив нефтяного происхождения. Цетановое число метанола не превышает 5 вместо 50 у ДТ, то есть метанол имеет высокую склонность к самовоспламенению. Кроме того, у метанола низкая теплота сгорания - 19665 вместо 42530 кДж/кг для ДТ, а теплота испарения 1109 кДж/кг (у ДТ - 251 кДж/кг).

Температура воспламенения метанола 470°C, а ДТ - всего 200...220°C. Температура вспышки 11°C, то есть ниже, чем у ДТ (75°C). Вместе с тем октановое число метанола около 110...115 единиц по исследовательскому методу, то есть он обладает высокой детонационной стойкостью, меньшей плотностью - 791 кг/м³ (при плотности ДТ 830 кг/м³), высокой температурой кипения. Теплота сгорания горючей смеси практически одинакова: 2,76 мДж/кг у метанола и 2,77 мДж/кг у дизельного топлива. Вследствие наличия в молекуле метанола атома кислорода он характеризуется широким стехиометрическим соотношением: 6,4:1 (для ДТ-14,5:1). Для достижения такого же по объему энергосодержания заряда топливовоздушной смеси в цилиндры двигателя должно быть введено метанола примерно в 2,3 раза больше, чем ДТ. Для обеспечения одинакового запаса хода автомобиля или трактора должны снабжаться топливными баками, во столько же раз большими по объему [5...7, 29...118].

Сырьевая база для производства метанола в развитых странах представлена в таблице 1.6, а для РФ в таблице 1.7. [43, 44]. Поддача метанола может быть осуществлена различными способами. Анализ работ, посвященных этому вопросу [5...7, 45...54], позволяет систематизировать способы поддачи метанола и представить их в виде схемы на рис. 1.4 [7]. Основные методы поддачи метанола в дизель: в жидком виде, в виде топливной эмульсии (смесь метанола и ДТ), в виде пара. Эти методы могут быть реализованы по-разному, имеют

существенные отличия и на конкретных моделях двигателей требуют различных конструктивных изменений.

Таблица 1.6

Структура сырьевой базы метанола наиболее развитых стран мира, %

СТРАНЫ	Газы нефтепереработки	Природный газ	Прямогонный бензин	Тяжелые нефтяные остатки
Великобритания	-	100	-	-
США	-	87	-	13
Франция	-	81	19	-
ФРГ	-	19	13	68
Япония	48	52	-	-
СССР	28	72	-	-

На дизель в зависимости от способа подачи и воспламенения метанола необходимо устанавливать систему зажигания, свечи накаливания или зажигания, дополнительные форсунки, двойной комплект топливной аппаратуры.

Таблица 1.7

Основные технико-экономические показатели производства метанола из углей Канско-Ачинского бассейна по оценкам различных организаций (в ценах 1984 года)

Показатели	ИГИ	ГОСНИИ метанолпроект	ИВТАН	Днепродзержинский филиал ГИАП	ГКНТ СССР
Мощность, млн. т/год	0,75	0,75	2,25	3,0	7,63
Себестоимость	46...50	88	64...70	70	-
Капитальные затраты на промышленное строительство, руб./г	150...170	600	250...490	350	125...187
Приведенные затраты, руб./г	67...99	168	110...140	112	50...60

Анализ работ, проводимых в РФ и за рубежом по исследованию возможности применения метанола в качестве топлива для дизелей, позволяет сделать вывод о том, что они ведутся в различных направлениях, начиная от создания новых моделей дизелей, разработанных специально для работы на метаноле, и кончая модернизацией дизелей, выпускаемых серийно и оборудованных для работы на метаноле без значительных конструктивных изменений [6, 7, 55...63].

Подача метанола во впускной трубопровод не требует применения сложной аппаратуры, позволяет более полно использовать воздух в объеме цилиндра, что повышает тепловую эффективность сгорания горючего заряда. Процентные отношения подаваемого метанола и ДТ для каждого способа различны. Метанол можно также подавать непосредственно в цилиндр дизеля в виде эмульсии и в жидком виде с помощью насоса и форсунки. Количество подаваемого метанола и степень изменения конструкции дизеля также могут быть различны. Доля заменяемого ДТ в зависимости от способа подачи метанола в двигатель представлена в таблице 1.8 [42].

Таблица 1.8

Количество заменяемого дизельного топлива в зависимости от способа подачи

Способ подачи метанола в двигатель	Доля заменяемого дизельного топлива, %
Подача гомогенного раствора	25
Подача эмульсии	40
Фуэнтация (карбюрация метанола во впускной тракт)	50
Непосредственно впрыск в цилиндр	90

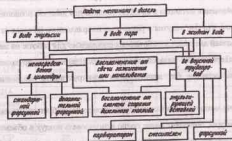


Рис. 1.4. Способы подачи метанола в дизель

1.2.2. Основные направления научных исследований по применению метанола в качестве топлива для дизелей

Анализ имеющихся научных исследований по данной проблеме позволяет провести определенную систематизацию и выделить основные направления научных исследований по применению метанола в качестве топлива для дизелей [5...7]. Работы в России и странах СНГ находятся в основном на этапе стендовых испытаний [42...118]. Определенных результатов добились в НАМИ, МИИТе, Ворошиловградском МИ, Вятской государственной сельскохозяйственной академии и ряде других организаций. Такое положение вызвано тем, что, с одной стороны, при проведении работ встречается трудности по организации воспламенения метанола вследствие его специфических физико-химических свойств, а с другой - отсутствие четко сформулированных направлений научных исследований [6, 7]. Весь объем исследований можно условно подразделить на две области. Это области стендовых и эксплуатационных исследований. После завершения стендовых, необходимо проводить эксплуатационные исследования возможности использования метанола в качестве топ-

лива для автотракторных дизелей. Структурная схема исследований представлена на рис. 1.5 [7, 68].

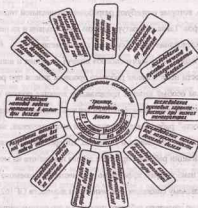


Рис. 1.5. Структурная схема основных направлений исследований по применению метанола в качестве топлива для автотракторных дизелей

Стендовые исследования необходимо проводить на всех моделях дизелей, особенно имеющих конструктивные отличия (вихрекамерных, с КС в поршне). На каждом из них интерес будет представлять исследование применение турбонаддува, поскольку совместное взаимодействие применения метанола и турбонаддува пока еще мало изучено. При проведении стендовых исследований важно правильно выбрать и исследовать способ подачи метанола в дизель, поскольку в настоящее время имеется значительное количество различных методов для его подачи. Они позволяют подавать метанола от 10 до 90%, однако на каждом двигателе, в зависимости от условий, можно реализовать разные методы и эффективность их будет различной. Кро-

ме этого, применение различных способов требует и разной сложности конструктивных изменений в дизеле для их реализации.

В процессе исследований могут быть выбраны такие методы подачи метанола в дизель, которые потребуют разработки специальной топливной аппаратуры и приборов. Такая аппаратура должна быть создана и на ней необходимо провести исследования работы системы подачи метанола [64...68].

При реализации выбранного способа подачи метанола и аппаратуры необходимо провести исследования рабочего процесса дизеля при работе на метаноле. При этом особый интерес представляет влияние подачи метанола на процессе сгорания дизеля, характеристики теплообразования, температуру в цилиндре, "жесткость" работы, период задержки воспламенения, закон подачи топлива, давление впрыскивания и так далее. Интерес представляют исследования по оптимизации рабочего процесса дизеля при работе на метаноле с целью получения наибольшего эффекта по количеству подаваемого метанола, а также по наибольшему снижению токсичности и дымности ОГ [62, 63]. Параллельно работам по изучению рабочего процесса и его оптимизации при работе на метаноле необходимо провести исследования токсичности и дымности ОГ. Здесь интерес будет представлять влияние подачи метанола на снижение в ОГ содержания NO_x и сажи. Необходимо изучать влияние на изменение содержания в ОГ альдегидов и бенз(а)пирена, поскольку в имеющейся литературе встречаются противоречия по этому вопросу.

Отдельным направлением в исследованиях будет изучение тепловой напряженности деталей дизеля при работе на метаноле. Высокие теплота испарения метанола и давление насыщенных паров приводят к тому, что снижается температура газов в цилиндре и, следовательно, температура основных деталей ЦПГ. Это создает предпосылки для форсирования дизеля по среднему эффективному давлению и частоте вращения. Вопрос этот почти не изучен и требует серьезного внимания. Не изучено пока и влияние подачи метанола на износ ди-

зеля и его топливной аппаратуры. Подробно изучение этого вопроса даст четкие рекомендации по ограничению количества метанола, подаваемого в цилиндры дизеля, что позволит разработать пути сокращения износа при работе на метаноле [71...75].

Очень важно определение пусковых характеристик дизеля, работающего на метаноле, при низких температурах окружающей среды, поскольку для метанола характерно плохое самовоспламенение и при этих условиях пуск дизеля становится одним из определяющих показателей. В процессе этой работы возможно создание устройств и приспособлений, облегчающих пуск дизеля на метаноле и улучшающих его самовоспламенение, а также соответствующих присадок [69].

При окончании стендовых исследований необходимо провести эксплуатационные исследования автомобиля или трактора на метаноле. Эти исследования требуют значительных материальных затрат, но дают полную картину возможности эксплуатации дизелей на метаноле с разработанной системой его подачи [76...78].

В связи с тем, что метанол требует особого обращения, вследствие повышенной токсичности, в первую очередь необходимо развернуть исследования методов безопасной работы с ним. Это направление работ представляется отдельным, требующим при разработке участия и гигиенистов, и специалистов по охране труда и технике безопасности. Здесь необходимо рассмотреть методы ремонта, разборки и сборки топливной аппаратуры, заправки и хранения метанола, исключаяющие случаи отравления. Интерес представляют изучение износа двигателей, топливной аппаратуры, системы подачи метанола при работе в условиях рядовой эксплуатации. Как поведет себя метанол при длительной эксплуатации, как будет влиять на хранение техники, какие методы надо разработать с учетом работы на метаноле - эти вопросы по автотракторным двигателям не изучались.

Возможно, что присутствие дополнительных систем для подачи метанола, его повышенная по сравнению с ДТ, коррозионная активность снизит в целом надежность транспорта, работающего на метаноле. Отсутствие достоверных данных по надежности транспорта, эксплуатирующегося на метаноле, определяет актуальность и важность этого направления исследований. Параллельно проведению этих работ необходимо изучить пуск дизеля в эксплуатационных условиях, особенно в условиях низких температур, провести испытания систем для улучшения пуска и самовоспламенения метанола.

Предложенные основные направления научных исследований по применению метанола в качестве топлива для автотракторных дизелей не исключают проведения других исследований, позволяющих дать ответ и на различные вопросы использования метанола, поскольку они базируются на первостепенных задачах, решить которые необходимо в первую очередь, на которые тесно взаимосвязаны и с другими, не менее важными и возникающими уже в самом процессе работы в этом направлении вопросах. Проведение всего объема предложенных исследований хотя бы для одной модели автомобиля или трактора позволит дать ответ на многие, кажущиеся сейчас спорными вопросы и создаст твердую научную платформу для дальнейшего углубления исследований по применению метанола в качестве топлива для автотракторных дизелей [68].

1.2.3. Применение метанола в качестве топлива в РФ и за рубежом

Важное место в исследованиях по применению в дизелях метанола занимают работы Абрамова С.А., Алексева Д.Г., Алейникова Ю.П., Арсенова Е.Е., Балашова В.И., Вишера А.Б., Гладких В.А., Звонова В.А., Ксенофонтова И.В., Лернера М.О., Лукашина В.М., Луновой В.В., Лушко В.А., Малова Р.В., Махова В.З., Носенко Н.В., Обельянского А.М., Патрахальцева Н.Н., Плотникова С.А., Попова В.М., Попова В.П., Ратьковой М.Ю., Смаля В.Ф., Хачобян А.С. и дру-

гих, выполненные в ведущих институтах бывшего СССР [34, 37, 40...48, 50, 51, 55...63, 65...78, 84, 118, 212... 232].

В МИИТе были проведены исследования дизеля К461М1 (6 ЧН 12/14) при работе с подачей метанола в диссоциированном виде. Подача метанола осуществлялась перед турбокомпрессором с помощью отдельной системы питания. Метанол предварительно испарялся и каталитически разлагался. Теплота ОГ утилизировалась и использовалась для испарения метанола. При работе на метаноле наблюдалось снижение концентрации сажи в ОГ и содержания суммарных углеводородов, особенно на режимах средних нагрузок.

В Вятской государственной сельскохозяйственной академии были выполнены работы (рис. 1.6) [7, 61, 62] по переводу дизеля Д-21А1 трактора Т-25А на метанол с использованием двойной системы топливоподачи. Метанол подавался топливным насосом УТН-5А через штатную форсунку. Для подачи порции ДТ в цилиндр на дизеле был смонтирован второй топливный насос УТН-5А, а в цилиндре с помощью шпильки в отверстие головки, просверленного ниже места установки основной форсунки, но в одной с ней вертикальной плоскости, установлена дополнительная штифтовая форсунка ФШ6-2х25. Это позволяло при соответствующей разнице установочных углов опережения впрыскивания ДТ и метанола подавать метанол в факел распыленного ДТ, что способствовало лучшей организации воспламенения метанола в цилиндре.

Пуск и прогрев дизеля осуществлялись на ДТ, после чего включалась подача метанола, а подача ДТ уменьшалась. Эксперименты показали, что на номинальном скоростном и нагрузочных режимах для обеспечения устойчивой работы дизеля (без перебоев и пропусков воспламенения) достаточно подавать не менее 10% запыленного ДТ от суммарного расхода топлива. На этом же двигателе был реализован способ подачи метанола на впуске с помощью карбюратора [7, 62]. Этот простой метод позволял подавать до 30% метанола, экономя

при этом до 13% ДТ и снизить содержание сажи в ОГ до 20...40% в зависимости от количества подаваемого метанола.

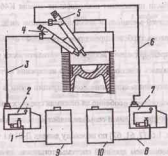


Рис. 1.6. Принципиальная схема двойной системы топливоподачи метанола в цилиндры дизеля: 1 и 3 - топливонасосы низкого и высокого давления для подачи ДТ; 2 и 7 - ТНВД для подачи ДТ и метанола; 4 и 5 - форсунки для подачи ДТ и метанола; 6 и 8 - топливopоводы высокого и низкого давления для подачи метанола; 9 и 10 - топливные баки для ДТ и метанола

В Вятской государственной сельхозакадемии были выполнены работы по применению в качестве топлива для дизеля МТЭ, созданных с помощью различных поверхностно-активных веществ [7, 45...48, 55, 63, 65...67]. Были использованы шесть таких веществ, которые позволяли получить эмульсии с различной стабильностью от 5 мин до 36 часов. Для регулирования состава МТЭ могут применяться различные схемы и способы [63]. Есть способ, основанный на волновом процессе в линии высокого давления и состоит в следующем: при отсечке подачи насосом (рис. 1.7), его нагнетательный клапан своим разгрузочным повском формирует в линии высокого давления волну разрежения. В период между впрыскиванием волна разрежения многократно открывает обратный клапан и способствует поступлению и смешиванию добавочного топ-

лива с ДТ. Однако, такой способ вряд ли сможет обеспечить высокую равномерность подачи метанола. Кроме того, величина подачи добавочного топлива зависит от перепада давлений на обратном клапане. В случае малого перепада давлений затруднена подача высокой доли добавочного топлива и наоборот.

С целью упрощения системы топливоподачи предложено включить в линию подачи ДТ обменник давления с делителем давления (рис. 1.8.) [63]. Делитель давления может быть плунжерного или мембранного типа. Одна полость обменника включена в линию подачи ДТ, а вторая - в линию подачи спиртового топлива. При работе насоса высокого давления плунжер или мембрана делителя давления перемещается за счет давления в полости подачи ДТ и подает спиртовое топливо через дополнительную форсунку. Таким образом, частично упрощается конструкция двухтопливной системы питания дизеля. Исследования [7, 145, 65...67] показали, что при работе на МТЭ снижается на 48% содержание сажи в ОГ дизелей.

За рубежом вопросам применения метанола в дизелях занимаются ведущие моторостроительные фирмы: "Ривардо" (Англия), "Джон Дир", "Катерпиллер", "Дженерал Моторс" (США), "Комatsu" (Япония), "Бурмайстер и Вайт" (Дания), "Сaab Сканиа", "Вольво" (Швеция), "Фольксваген", "Даймлер-Бенц", MBM, КД, MAN (Германия) и др., а также исследовательские центры: Миссурийский университет, Юго-Западный исследовательский институт, Иллинойский университет (США), Технологический институт г.Ахена (Германия), Институт механики Триестского университета (Италия), Иоганнесбургский университет (ЮАР), и др. [5...7, 33...44].

Имеются сведения о результатах стендовых и дорожных испытаний грузового автомобиля с дизелем, у которого метанол подавался по впускной трубопроводу через эмульгирующую вставку в количестве 30%. При этом возрастал КПД дизеля и снижалась токсичность ОГ. Пуск дизеля осуществлялся на ДТ, а перед остановкой подача метанола прекращалась заранее. При подаче

метанола во впускной трубопровод с помощью карбюратора у четырехтактного четырехцилиндрового двигателя "Standard-20" заменялось до 32% ДТ. Двигель объемом 2,12 л имел раздельную КС и степень сжатия 20,5.

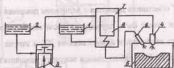


Рис. 1.7. Схема подачи метанола с использованием волнового процесса: 1 - метанол; 2 - ДТ; 3 - секция насоса высокого давления; 4 - штатная форсунка; 5 - цилиндр; 6 - дополнительная форсунка; 7 - смешивающее устройство; 8 - регулятор давления; 9 - обратный клапан

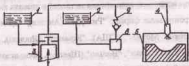


Рис. 1.8. Схема подачи метанола с использованием обменника давления; обозначения см. на рис.1.7

Метанол подавался с помощью карбюратора "Solex". Дорожные испытания, проведенные на микроавтобусе с контрольной нагрузкой при постоянных скоростях движения, показали, что при скорости 30...40 км/ч удельный расход топлива оказался одинаковым при работе с метанолом и без него, а при скорости 50...60 км/ч имелась экономия до 4,4% при работе двигателя с метанолом, которым замещалось от 8 до 44% ДТ.

Фирма "Даймлер-Бенц" создала на базе газового варианта дизеля с неразделенной КС двигатель для работы на метаноле, предварительно испаренном в теплообменнике, оборудованный искровой системой зажигания [38].

Фирма "Коматсу" (Япония) и Юго-Западный исследовательский институт США провели анализ работы одноцилиндрового отсека дизеля "Komatsu-150" с объемом 1,08 л, отношением $S/d = 125/105$, степенью сжатия 16 на чистом метаноле и эмульгированной смеси метанола и 20% ДТ. Для воспламенения смеси использовалась серийная свеча зажигания "Champion". Длительность искрового разряда регулировалась до 180 град п.к.в., начало разряда - механическим прерывателем. Для устройства работы дизеля в широком диапазоне нагрузок и частот вращения необходимо, чтобы искровой промежуток находился на боковой поверхности одной из струй впрыскиваемого топлива, где состав топливовоздушной смеси близок к стехиометрическому. Расстояние от искрового промежутка свечи зажигания до сопла распылителя форсунки составило для данного дизеля 14 мм. Для топлива с 20% метанола искровое зажигание требовалось для пуска и прогрева дизеля. На чистом метаноле дизель устойчиво работал только с использованием искрового зажигания.

Исследования также проводились на одноцилиндровом дизеле с разделенной КС фирмы "Джон Дир" с рабочим объемом 0,876 л и степенью сжатия 16,8 и четырехцилиндровом дизеле этой же фирмы с неразделенной КС и турбонаддувом с рабочим объемом 3,9 л и степенью сжатия 16,5. Для испытаний использовались топлива, содержащие 80% ДТ, 10...98% метанола и 10% гексана; 77,5% ДТ, 15...95% метанола и 7,5% гексана. Испытания носили сравнительный характер и ставили перед собой задачу выявить зависимость между типом дизеля, применяемым топливом и токсичностью ОГ. Так, установлено, что для топлива, содержащего метанол, на обоих двигателях дымность ОГ и количество частишек сажи значительно меньше. Вместе с тем содержание NO_x в ОГ несколько выше. Исследователи объясняют увеличение содержания NO_x в ОГ

более длительным периодом задержки воспламенения этого топлива и более трудным его сгоранием.

В Триестском университете (Италия) проведены исследования по использованию в качестве топлива для дизелей смеси газойля с метанолом. В качестве присадки, улучшающей самовоспламенение заряда, использовался изопропиламинитрит. Исследования проводились на одноцилиндровом дизеле с предкамерным смесеобразованием. Верхний предел работы дизеля на газойль-метанольной смеси ограничивается содержанием 35% метанола. Дальнейшие исследования проводились на серийных дизелях с неразделенной КС без наддува мощностью 75 кВт и степенью сжатия 16 и с наддувом мощностью 95 кВт. Впрыскивание топлива проводилось под давлением 20,6 МПа при постоянном угле опережения впрыскивания топлива 21° п.к.в. до в.м.т.

Исследования показали, что удельный расход топлива повышается с увеличением частоты вращения и содержанием метанола в топливе. Добавление присадки в количестве до 1% повышает мощность дизеля на 6%. Добавление присадки целесообразно только в определенных пределах из-за охлаждения заряда цилиндра и снижения эффекта от повышения цетанового числа. При работе с наддувом и подаче метанола до 30% концентрация СО и ОГ изменяется только в определенном диапазоне частот вращения, концентрация СН₄ несколько возрастает. Присадка для ускорения самовоспламенения топлива оказывает благоприятное влияние на снижение дымности ОГ.

Для самой массовой модели дизеля фирмой "Катерпилер" разработан способ организации процесса сгорания, обеспечивающий использование в качестве топлива чистого метанола. Поскольку воспламенение метанола наблюдалось только при нагрузках, превышающих 60% от максимальных, была использована свеча накалывания. Вторым фактором, обеспечивающим стабильность воспламенения метанола, стало введение в форсунку центрального распылительного отверстия, направляющего струю топлива на штифт, установ-

ленный на днище поршня. Формирующаяся при ударе струи о поверхность штифта зона топливоздушная смеси с благоприятным для воспламенения составом охватывает при этом не только область свечи накалывания, но и центральный объем КС, пересекая таким образом струи топлива от боковых распылывающих отверстий форсунки. Очаг воспламенения от свечи накалывания на любой нагрузке быстро распространяется на весь объем КС. Эта особенность процесса сгорания способствует снижению выброса с ОГ СН₄. Расчеты характеристик тепловыделения показали, что в двигателе реализуется процесс сгорания, занимающий промежуточное положение между процессами в дизеле и ДВС с искровым зажиганием.

Три способа подачи метанола в дизель исследовались на модели Д-2156-МПН-8 румынского производства для грузового автомобиля. Метанол подавался путем карбюрирования его на впуске, в виде топливо-спиртовой эмульсии и с помощью дополнительного насоса и форсунки. Отмечено, что использование метанола в качестве смесового топлива вызывает повышение содержания СН₄ в ОГ при существенном снижении NO_x и сажи.

Японским автомобильным исследовательским институтом разработан шестцилиндровый дизель для автобусов объемом 5,8 л, в котором метанол впрыскивался в тороидальную КС в поршне или в диссоциированном виде подавался во впускной трубопровод через электромагнитный клапан и воспламенялся обычной свечой зажигания. Второй электромагнитный клапан регулировал подачу воздуха на впуске, и вся топливная система управлялась электронным блоком.

Фирма "Даймлер-Бенц" модернизировала дизель модели М407L с числом цилиндров 6, объемом 11,4 л для работы на паре метанола и принудительном воспламенении при степени сжатия 11,5. В процессе модернизации были заменены поршни, вместо системы впрыскивания ДТ установлены бесконтактная система зажигания, генератор паров метанола, газовый карбюратор-смеситель,

система регулирования. Выбросы NO_x и CH_4 с ОГ при испытании по 13-ступенчатому ездовому циклу уменьшились на 25%, дымление отсутствовало, выбросы формальдегида уменьшились в 3,5...14 раз. На дизеле OM 407 проводились исследования по влиянию присадок на самовоспламеняемость метанола. В метанол добавлялось 4% триэтилэтильнитрата и 1% касторового масла. В качестве антиокислительной присадки добавлялось 0,02% морфоллина. Были оптимизированы угол впрыскивания метанола, диаметр соплового отверстия илтифтовой форсунки, внутренний диаметр топливпровода. Показано, что рабочие показатели такого дизеля сопоставимы с прототипом и на 20...25% лучше дизеля, работающего на парах метанола. Выбросы NO_x на 50% меньше, чем при работе с ДТ. ОГ практически не содержит сажи, и применение КН окислительного типа позволяет снизить выбросы CO до 0, а CH_4 - на 95%. Недостаток - высокая стоимость метанола с присадками.

Давные по износу детали, работающей на метаноле, несколько противоречивы, однако по результатам стендовых испытаний, проводимых фирмой MAN в течение нескольких тысяч часов, вопросов, связанных с повышенным износом деталей дизеля или топливной аппаратуры, не возникает. Также же результаты приводятся и в других аналогичных работах.

1.2.4. Влияние применения метанола на снижение токсичности и улучшение эксплуатационных показателей тракторных дизелей

Анализ научно-исследовательских работ показывает, что на улучшение эксплуатационных показателей дизелей при работе их на метаноле в основном влияние оказывает метод подачи его в дизель, а так же количество подаваемого метанола [6, 7, 31...44, 50, 51, 62, 63, 79...118].

В работах [6, 7, 62] исследовалось влияние подачи метанола на впуске с помощью простейшего карбюратора у безнаддувного дизеля с неразделенной камерой сгорания. Количество подаваемого метанола не превышало 30%. На рис. 1.9 представлены нагрузочные характеристики дизеля 24 10,5/12,0 при

подаче метанола на впуске при частоте вращения 1800 мин^{-1} . Из графиков видно, что эффективный КПД, который учитывает тепловорную способность топлива, не снижается при работе дизеля на метаноле, а на больших нагрузках даже возрастает. Это свидетельствует о лучшей организации рабочего процесса, более эффективном сгорании ДТ в сжатой метаноле-воздушной среде, чем в воздухе. Анализ содержания токсичных компонентов в ОГ показывает, что подача метанола на впуске дизели в объеме 15 и 30% к расходу основного топлива не повышает содержание токсичных компонентов в ОГ, а содержание сажи снижается в зависимости от нагрузки и частоты вращения от 20 до 40%. При этом замещается до 13% ДТ, не ухудшаются мощностные, экономические и токсические показатели дизеля. Рассмотренный способ авторы рекомендуют применять на тракторах уже находящихся в эксплуатации, поскольку он не требует значительных конструктивных изменений и достаточно эффективен.

Исследования подачи метанола на впуске у дизеля с турбонаддувом приведены в работе [38], где на впуске подавался метанол в отношении массы спирта к массе ДТ до 1,1. Добавление метанола также мало сказывается на эффективном КПД. При подаче метанола на впуске возрастает мощность двигателя. Авторы объясняют это тремя факторами: предел дымления сдвигается в сторону более богатых смесей (в виду наличия кислорода в метаноле); испарение метанола во впускной системе снижает температуру смеси на впуске в цилиндр, что повышает плотность заряда; возрастает полнота использования воздуха в цилиндре вследствие образования гомогенной горючей смеси на впуске.

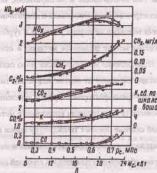
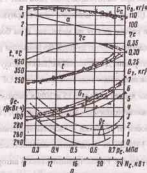


Рис. 1.9. Влияние подачи метанола на выпуск на мощность, механические (а) и токсические (б) показатели дизеля 2410.5/12. \circ — \circ — дизельный процесс; \square — \square — с подачей метанола 15%; \times — \times — с подачей метанола 30%; Δ — Δ — расход ДТ при работе с подачей 30% метанола

В ряде работ [7, 38] отмечается, что при подаче метанола на выпуск увеличивается выброс продуктов неполного сгорания CO и CH₄, и снижается выброс оксидов азота и сажи. В работе [38] на дизеле "Навистар Интертайшнл" с объемом 7,14 л, числом цилиндров 6, степенью сжатия 16,3, мощностью 125 кВт при 2500 мин⁻¹, с неразделенной КС и наддувом было исследовано несколько способов подачи метанола на выпуск с помощью четырехдырчатой форсунки фирмы "Бендикс" с электронным управлением. Давление электромагнитной форсунки поддерживалось на уровне 10 МПа. Форсунка устанавливалась под углом 25° к вертикали с тем, чтобы максимально приблизить распылитель к впускному клапану. Метанол впрыскивался с помощью насоса распределительного типа. Исследовались три варианта подачи метанола: раздельное впрыскивание — метанол впрыскивается по 50% на каждом обороте коленчатого вала; впрыскивание всей дозы метанола при открытом впускном клапане с моментом начала впрыскивания при положении поршня в в.м.т.; впрыскивание всей дозы метанола при закрытых клапанах с моментом начала впрыскивания при 360 град. п.к.в. в в.м.т. Продолжительность впрыскивания зависела от количества впрыскиваемого топлива. Импульс для начала впрыскивания поступал от трех равномерно расположенных в пространстве оптических датчиков. Исследования показали, что все три способа введения метанола в дизель влияют на величину ρ_2 . Причем при двух последних способах при частоте вращения 1800 мин⁻¹ наблюдаются нарушения процесса сгорания из-за появления детонационных стуков. Многоструйное впрыскивание метанола с разделением дозы на две части на каждом обороте коленчатого вала — наиболее надежное.

Способы, влияющие на содержание токсичных компонентов в ОГ, мало чем отличаются один от другого. Общие закономерности сохраняются: с увеличением доли подачи метанола существенно снижается содержание NO в ОГ, а концентрация CH₄ резко увеличивается, особенно на малых нагрузках, где подача метанола достигает 80%. Сопоставление закономерности изменения

индикаторного КПД, скорости нарастания давления и содержания токсичных компонентов в ОГ в зависимости от нагрузки и количества подаваемого метанола представлено на рис. 1.10. Содержание NO_x и CH_x дано в соотношении к содержанию NO_x и CH_x при дизельном процессе. Из графиков видно, что если содержание NO_x при подаче метанола снижается от 10 до 100%, то содержание CH_x увеличивается по сравнению с дизельным процессом от 2...2,5 раза при больших нагрузках до 12 раз при малых и подаче метанола 80% независимо от способа его впрыскивания. При испытаниях дизель К461М1 (6СН 12/14) с наддувом была осуществлена подача метанола в диссоциированном виде [118]. Подача метанола осуществлялась перед турбокомпрессором с помощью отдельной системы с предварительным его испарением и каталитическим разложением. Теплота ОГ утилизировалась и использовалась для испарения метанола. При подаче продуктов разложения метанола было получено улучшение экономических показателей (табл.1.9).

Таблица 1.9
Влияние подачи метанола на экономичность дизеля

Параметр	Значение параметра при нагрузке двигателя, %				
	25	50	75	100	
Увеличение расхода смеси при различных добавках метанола, %:	10	2,7	2,7	2,0	0
	30	8,3	12,9	15,3	12,7
	50	25,0	25,0	27,3	23,4
	Уменьшение расхода ДТ характеристик по саже, CO , CH_x и NO_x (рис.1.29) по сравнению с дизельным при различных добавках метанола, %:	10	5,6	7,4	7,3
	30	11,3	13,9	14,0	16,3
	50	18,3	20,4	21,3	26,0

Вследствие почти вдвое меньшей теплоты сгорания метанола по сравнению с ДТ при его добавлении по массе в пределах 10...50% и сохранения эффективных показателей, расход рабочей смеси увеличился на 2,7...25% при одновременном снижении расхода ДТ на 18...26%. Характер нагрузочных токсических характеристик по саже, CO , CH_x и NO_x (рис. 1.11) по сравнению с дизельным процессом не изменился.

Вместе с тем концентрация сажи в ОГ снизилась в три раза во всем диапазоне нагрузок при добавлении 50% метанола. Несколько увеличилось содержание CO . Концентрация NO_x осталась без изменений, CH_x - уменьшилась в 4...5 раз в области средних нагрузок, оставаясь в первом приближении без изменений на нагрузках, близких к холостому ходу и номинальной. Отмечается, что присадка продуктов разложения метанола повышает термодинамической и индикаторный КПД за счет увеличения доли топлива, сгорающего при $v = \text{const}$. Работа двигателя при добавлении метанола в виде продуктов его разложения в количестве до 50% по массе устойчива на постоянных и переменных нагрузках. Изменения пусковых характеристик не замечено. Технико-экологические показатели могут быть улучшены корректировкой на optimum угла опережения впрыскивания топлива, применением КН.

При системе двойной топливopодачи, иногда называемой пилотной, большое влияние на мощностные и токсические показатели дизеля оказывает правильная ориентация сопловых отверстий форсунок [7]. Оптимальная ориентация струй топлива для двух вариантов камеры в поршне и для вихревой камеры (последняя менее чувствительна к положениям факела ДТ) показана на рис. 1.12. Вихревая камера с двойным впрыскиванием прошла всесторонние испытания на дизеле со степенью сжатия 19,5. Мощность регулировалась изменением количества впрыскиваемого метанола. Максимальная степень замены метанолом достигает 94% на режиме максимальной мощности.

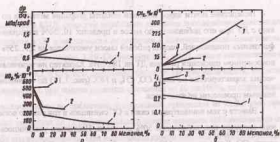


Рис. 1.10. Изменение показателей работы дизеля при впрыскивании метанола с помощью форсунок в зависимости от его количества: а - изменение скорости нарастания давления в цилиндре и относительное изменение содержания NO_x в ОГ; б - относительное изменение содержания CH₄ в ОГ и изменение индикаторного КПД: 1 - при $p_c = 0,827$ МПа; 2 - при $p_c = 0,528$ МПа; 3 - при $p_c = 0,176$ МПа

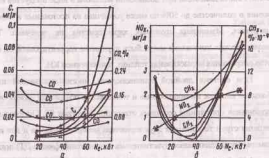


Рис. 1.11. Влияние подачи метанола в диссоциированном виде на выхлоп дизеля на токсичность ОГ в зависимости от нагрузки: а - для сажи и NO_x; б - для CH₄ и NO_x; * - дизельная форсунка; ×, ○, Δ - при подаче метанола в количестве 10, 30 и 50% соответственно

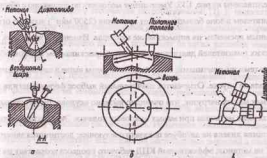


Рис. 1.12. Варианты камер сгорания дизелей с двойным впрыскиванием топлива

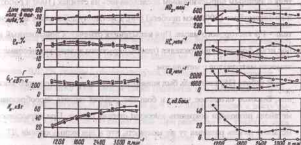


Рис. 1.13. Показатели дизеля с двойным впрыскиванием (внешняя характеристика): * - - - серийный дизель; - ○ - дизель с двойным впрыскиванием

Основные показатели дизеля при испытаниях по внешней характеристике представлены на рис. 1.13. Уменьшение мощности по сравнению с обычным двигателем в зоне больших частот вращения (2500 мин^{-1}) вызвано ограниченным временем на впрыскивание метанола. Изменение характера токсических показателей двигателя с двойным впрыскиванием в целом объясняется теми же причинами, которые рассмотрены выше в случае подачи метанола на впуске. Отмечается значительный выброс формальдегида на режимах малых нагрузок, что очевидно вызвано неудовлетворительным распылением метанола при малых цикловых подачах. Эксплуатационные испытания дизеля на автобусе показали следующее: достигается замена 86% ДТ на метанол; эффективный КПД рабочего процесса возрастает на 9%; динамические свойства автомобилей не ухудшаются; выброс углеводородов и оксидов азота уменьшается более чем в два раза; выброс CO возрастает в 2,5 раза, но не превышает 0,25%. Надежность и срок службы двигателя с двойным впрыскиванием исследовались на стендах (1000 ч работы) и на автомобиле (30000 км пробега) [38]; к метанолу добавлялся загуститель - 1% касторового масла. При испытаниях отмечался повышенный износ иглы форсунки и прокладки (шайбы) пружины вследствие несовместимости материалов с метанолом.

В работе [38] двигатель был конвертирован для принудительного зажигания. Высокое октановое число и большая скрытая теплота парообразования метанола позволили сохранить высокую степень сжатия. При впрыскивании метанола дизель развивал ту же мощность, что и при использовании ДТ. Дизель имел предкамеру с искровой свечой зажигания и степень сжатия 19, опережение впрыскивания метанола в предкамеру $\phi_p = 35$ до в.м.т., опережение зажигания $\phi_z = 5^\circ$ после в.м.т. По сравнению с ДТ ϕ_z увеличено на 10° , ϕ_p ограничивалось детонацией (стуком). Влияние подачи метанола на эффективный КПД предкамерного дизеля рассмотрено в работе [7], а вопросы снижения те-

плоннапряженности свечей и деталей камеры сгорания в работе [7]. Для повышения самовоспламеняемости метанола и смесей ДТ с метанолом, предлагается добавка незначительного количества нитросоединений [7]. К недостаткам таких топлив можно отнести повышенный выход оксидов азота при сгорании. Данные по смесеобразованию дизелей при работе на таких топливах неоднозначны [7, 37, 38].

В работе [37, 38] представлены результаты исследований проведенных фирмой Фольксваген на автомобильных двигателях, работающих на метаноло-топливных смесях, состоящих из 20% метанола, 65% дизельного топлива и 15% вещества, улучшающего растворимость. Испытания показали, что снижается дымность ОГ. Результаты исследований нестабильных эмульсий с различным содержанием метанола в двухтактном дизеле с неразделенной КС показаны на рис. 1.14.

В работах [7, 212, 217, 218, 232] применялись МТЭ при исследовании работы дизеля 24 10,5/12,0. Данные по влиянию МТЭ на содержание токсичных компонентов представлены на рис. 1.15. Как видно из графиков, при работе дизеля на МТЭ содержание NO_x в ОГ снижается в два раза. Так, на номинальном режиме при $p_c = 0,6 \text{ МПа}$ концентрация NO_x в ОГ для дизельного процесса составила 0,036%, а при работе дизеля на МТЭ с содержанием 30% метанола - 0,017%, причем с ростом нагрузки эта тенденция увеличивается.

Содержание сажи в ОГ дизеля также снижается при работе на МТЭ. Так увеличение нагрузки от $p_c = 0,24 \text{ МПа}$ до $p_c = 0,72 \text{ МПа}$ приводит к росту выброса сажи от 2,3 до 7,3 ед. по шкале Боша. При работе на МТЭ выброс сажи уменьшается во всем диапазоне нагрузок. Снижение содержания сажи в ОГ при работе дизеля на МТЭ связано с особенностью горения спиртов в условиях недостатка кислорода воздуха.

Так, уменьшение выбросов сажи в ОГ составляет соответственно 17, 37 и 48% для случаев работы дизеля с содержанием метанола 10, 20 и 30%.

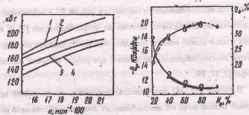


Рис. 1.14. Внешние скоростные характеристики дизеля (а) при работе на уменьшенных с различными добавками метанола: 1 - ДТ; 2 - ДТ и 20% метанола; 3 - ДТ и 25% метанола; 4 - ДТ и 35% метанола; б. эффективные показатели дизеля при работе на постоянной нагрузке: Δ - ДТ; \circ - ДТ и 20% метанола

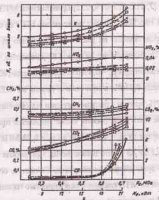


Рис. 1.15. Содержание токсичных компонентов в ОГ дизеля 2Ч10,5/12,0 при работе на МТЭ в зависимости от нагрузки при $n = 1800 \text{ мин}^{-1}$; \circ - \circ - дизельный процесс; \square - \square - 10% метанола в МТЭ; \times - \times - 20% метанола в МТЭ; Δ - Δ - 30% метанола в МТЭ

Уровень содержания CO в ОГ дизеля практически не отличается от его значений при работе на ДТ или МТЭ. Концентрация CO_2 в ОГ дизеля 2Ч10,5/12,0 при работе на МТЭ меняется неоднократно. Так, при увеличении p_c от 0,24 до 0,72 МПа содержание CO_2 увеличивается с 3,77 до 9,13% для дизельного процесса и с 4,31 до 9,81% при работе на МТЭ с 30% метанола. Содержание CH_4 в ОГ дизеля несколько возрастает при работе на МТЭ. Решающее значение в этом случае оказывает ускорение процесса горения, снижение средней температуры цикла и, как следствие, температуры ОГ. На номинальном скоростном режиме при $p_c = 0,6 \text{ МПа}$ концентрация CH_4 увеличивается от 0,05% для дизельного процесса до 0,1% при работе на МТЭ с 30% метанола. В целом можно сделать вывод о том, что метанол оказывает различное воздействие на кинетику образования токсичных компонентов и дымности ОГ, мощностные и экономические показатели в зависимости от способов его подачи и организации рабочего процесса дизеля, а также количества подаваемого метанола.

1.2.5. Влияние применения метанола на процессы сгорания и тепловыделение в дизелях

Процесс сгорания и тепловыделения в дизелях при работе на метаноле так же во многом зависит от способа подачи его в цилиндры и от количества используемого метанола. Исследования показали, что каждый способ имеет свои ограничения по показателям процесса сгорания и тепловыделения, которые необходимо учитывать при его реализации.

Результаты исследования [6, 7] индцирования дизеля при подаче метанола на впуске приведены на рис. 1.16, а. С увеличением количества подаваемого метанола угол, соответствующий периоду задержки воспламенения $\varphi_{\text{з}}$ увеличится. Так, если у серийного дизеля при частоте вращения $n = 1800 \text{ мин}^{-1}$ значение $\varphi_{\text{з}} = 26$ градусов п.к.в., то при подаче 15% метанола на впуске он составляет уже 27,5 градуса п.к.в., а при подаче 30% - 29 градусов п.к.в.

Вследствие этого возрастает и "жесткость" сгорания. При дальнейшем увеличении подачи метанола период задержки воспламенения еще больше возрастает, что влияет на скорость нарастания давления, которая при подаче метанола на впуске 40% достигает 0,675 МПа/градус. Работа дизеля в этом случае сопровождается повышенным шумом и стуками. Поэтому при таком способе подачи метанола в цилиндры дизеля следует ограничивать количество подаваемого на впуске метанола до 30% к расходу основного топлива, с целью сохранения показателей долговечности. При работе с подачей метанола на впуске несколько увеличивается p_{max} . Так, при $n = 1800 \text{ мин}^{-1}$ величина $p_{max, \lambda} = 7,25 \text{ МПа}$, $p_{max, \lambda 1} = 7,29 \text{ МПа}$ и $p_{max, \lambda 2} = 7,35 \text{ МПа}$. Из результатов обработки индикаторных диаграмм, проведенных с использованием ЭВМ ЕС-1020, видно (рис. 1.16, б), что характеристики тепловыделения и осредненная температура цикла в цилиндре изменяются при подаче метанола на впуск. Максимальная температура цикла T_{max} как и следовало ожидать, уменьшается. Так, при $n = 1800 \text{ мин}^{-1}$ и $p_c = 0,585 \text{ МПа}$ при дизельном процессе $T_{max} = 1830,8^\circ\text{C}$, при подаче 15% метанола $T_{max} = 1834,3^\circ\text{C}$ и при подаче 30% метанола - 1669°C . Результаты индикаторных [6, 7] дизеля при работе с подачей метанола непосредственно в цилиндры и воспламенением от запальной порции ДГ показывают существенное снижение максимального давления сгорания p_{max} . При работе на ДГ (рис. 1.17, а) на частоте вращения $n = 1800 \text{ мин}^{-1}$ значение $p_{max, \lambda} = 7,25 \text{ МПа}$, а при работе на метаноле $p_{max, \lambda} = 6,58 \text{ МПа}$. Соответственно и значения $(dp/d\varphi)_{max}$ при работе на ДГ оставляют 0,496 МПа/градус, а при работе на метаноле - 0,382 МПа/градус. При этом следует отметить, что процесс сгорания при работе на метаноле несколько сдвигается на левую расширение. Если при работе на ДГ максимальное давление цикла достигается при $\varphi = 7$ градусах п.к.а., то при работе на метаноле - при $\varphi = 10,5$ градусах п.к.а. Из результатов обработки индикаторных диаграмм видно, что характеристики тепловыделения и осредненная температура

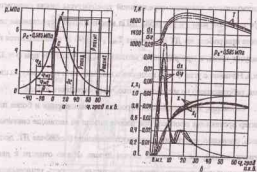


Рис. 1.16. Влияние подачи метанола во впускной трубопровод дизеля 24 10,5/12,0 при $n=1800 \text{ мин}^{-1}$: а - индикаторные диаграммы; б - характеристики тепловыделения; — дизельный процесс; ---- с подачи 15% и - - - - 30% метанола на впуск

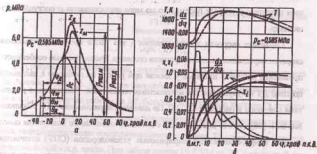


Рис. 1.17. Влияние подачи метанола с помощью двойной системы топливоподачи дизеля 24 10,5/12,0 при $n=1800 \text{ мин}^{-1}$: а - индикаторные диаграммы; б - характеристики тепловыделения; — дизельный процесс; ---- метанол с запальной ДГ

цикла в цилиндре изменяются при работе дизеля на метаноле (рис. 1.17, б). Максимальное значение средней температуры цикла сдвигается вправо. При $n = 1800 \text{ мин}^{-1}$ и $p_c = 0,585 \text{ МПа}$ максимальная средняя температура цикла при работе на ДТ составляет $T_{\text{ср.л}} = 2103 \text{ К}$ и наблюдается при $\varphi = 20$ градусах п.к.в., а при работе на метаноле $T_{\text{ср.л}} = 2075 \text{ К}$ при $\varphi = 32$ градусах п.к.в. Начиная с угла $\varphi = 28$ градусов п.к.в., значение температуры цикла двигателя, работающего на метаноле, выше, чем у серийного дизеля.

Снижение максимальной скорости тепловыделения и более плавный характер протекания процесса при работе дизеля на метаноле связаны с тем, что здесь, очевидно, отсутствует самовоспламенение (исключая ДТ, доля которого незначительна), т.е. в данном случае дизель можно отнести к двигателям с принудительным воспламенением, у которых скорость тепловыделения в начале сгорания увеличивается. Так как метанол впрыскивается в горячий факел и у него не накапливается паровая фаза, обуславливающая задержку воспламенения, метанол воспламеняется сразу при соприкосновении с горящим запальным топливом и сгорает постепенно по мере впрыскивания и поступления в цилиндр.

Снижение скорости тепловыделения - это также причина уменьшения скорости нарастания давления процесса сгорания. Рассмотренные особенности протекания рабочего процесса у дизеля при работе на метаноле с запальной порцией ДТ не ухудшают его мощностных показателей. Аналогичные результаты получены в работах [42...44]. По данным Патрахальцева Н.Н., Шкаликковой В.П. [78], работа дизеля на ДТ с добавкой небольшого количества смеси жидких спиртосодержащих парафиновых углеводородов (СПУ) отличается снижением максимального значения давления цикла p_c и ростом жесткости процесса сгорания в 1,5 раза (рис. 1.18).

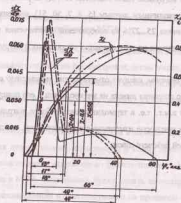


Рис. 1.18. Характеристики тепловыделения $dv/d\varphi$ и активного тепловыделения x дизеля 1Ч 8,5/11:
 — дизельный процесс;
 - - - 20% СПУ в ДТ;
 - - - 40% СПУ в ДТ

В результате увеличиваются скорости тепловыделения при работе дизеля на смесевом топливе. Максимум скорости тепловыделения смещается дальше за в.м.т., чем в случае работы на ДТ, большая доля топлива выгорает в течении первой фазы сгорания, существенно сокращается фаза диффузионного догорания, уменьшается общая продолжительность сгорания. Тем самым повышается максимальный к.п.д. цикла. При работе дизеля 1Ч 8,5/11 на ДТ, с частичной его заменой метанолом, было получено снижение максимального давления цикла p_c на 8% и снижение жесткости процесса сгорания ($dp/d\varphi$) на 4%, по сравнению с аналогичными показателями дизельного процесса [50, 51]. Эффект был достигнут на номинальном скоростном режиме и сохранился на холостом ходу

и частных нагрузках. Было замешено 10% ДТ из расчета по теплоте сгорания топлива. По различным данным [5, 6, 7, 50, 51], введение метанола должно быть ограничено 25...27% из соображений обеспечения нормальной работоспособности дизеля на всех основных скоростных и нагрузочных режимах работы.

Таким образом, следует отметить, что, независимо от способа применения, процесс сгорания дизеля на метаноле или в его присутствии осуществляется вблизи в.м.т., т.е. в термодинамически более выгодных условиях, чем и объясняется некоторое изменение его эффективных, токсических показателей и показателей рабочего цикла.

2. НЕКОТОРЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТАНОЛА В ТРАКТОРНЫХ ДИЗЕЛЯХ

2.1. Методика расчета периода задержки воспламенения в дизеле при работе на МТЭ

Задержка воспламенения, как основная характеристика воспламеняемого топлива, зависит от многих параметров и, в том числе, от физико-химических свойств топлива. При применения в дизелях МТЭ и выборе их оптимальных параметров, необходимо иметь оценку их воспламеняемости при различных концентрациях.

Одной из характеристик процесса сгорания в дизелях является величина, определяющая долю топлива, испаренную к концу периода воспламенения, т.е. подготовленную к сгоранию во фронте пламени. Увеличение количества метанола в МТЭ, несомненно, будет влиять на испаряемость за период задержки воспламенения и соответственно на процессы сгорания и тепловыделения [119...142].

Таким образом, при использовании метанола в качестве составляющей в МТЭ необходимо учитывать его физико-химические и моторные свойства, отличные от ДТ. Низкий показатель самовоспламеняемости, высокая теплота парообразования, присущие метанолу должны заметно увеличивать ϕ , (период задержки воспламенения), который оценивает общую длительность подготовительного периода в процессе сгорания дизеля, что соответственно будет способствовать росту максимального давления P_{max} , скорости нарастания давления $\left(\frac{dP}{d\phi}\right)_{max}$ и максимальной скорости тепловыделения $\left(\frac{dx}{d\phi}\right)_{max}$. Немаловажное значение будет иметь и то, что

метанол имеет E_a (энергию активации) примерно 376 кДж/моль, в то время как у углеводородного топлива значение энергии активации находится в

пределах $E_z = 125 \dots 167$ кДж/моль. То есть для разрыва химических связей в молекуле метанола требуется энергия в 2,2...3,0 раза больше. Следовательно, период задержки воспламенения $\tau_{\text{в}}$ должен быть существенно выше периода задержки воспламенения ДТ ($\tau_{\text{в}}$) [143...162].

Для ориентировочных расчетов по определению периода задержки воспламенения для дизелей, работающих на топливах с различным ЦЧ можно воспользоваться эмпирическим выражением, предложенным в работе [72]:

$$\tau_f = 8,25 \cdot 10^{-4} \cdot e^{1,1 \cdot 10^{-2}(60 - N_1)} \quad (2.1)$$

где: N_1 – цетановое число топлива; e – основание натуральных логарифмов.

Тогда для дизельного процесса $\tau_{\text{в}}$ будет иметь значение:

$$\tau_{\text{вД}} = 8,25 \cdot 10^{-4} \cdot e^{1,1 \cdot 10^{-2}(60-45)} = 9,7 \cdot 10^{-4} \text{ с.} \quad (2.2)$$

Для чисто метанольного процесса (теоретического) $\tau_{\text{в}}$ будет иметь значение:

$$\tau_{\text{вМ}} = 8,25 \cdot 10^{-4} \cdot e^{1,1 \cdot 10^{-2}(60-5)} = 15,1 \cdot 10^{-4} \text{ с.} \quad (2.3)$$

$$\text{или } \tau_{\text{вМ}} = 1,56 \tau_{\text{вД}}. \quad (2.4)$$

Даже при условии, что данные рассуждения носят приближенный характер, становится очевидным, что период задержки воспламенения при работе дизеля с метанолом увеличивается. Не исключено, что в подготовительный предпламенный период молекулы метанола проходят стадию термического разложения на активные радикалы CH_3 и OH для чего поглощается часть энергии от молекул углеводородного топлива, разлагающихся и воспламеняющихся в связи с их более низкой термической стабильностью гораздо быстрее. В связи с тем, что на это необходим определенный промежуток времени, то правильно будет считать, что чем больше молекул метанола будет находиться в МТЭ, то больше потребуется энергии для приведения их в химически активное состояние, что повлечет за собой увеличение периода предпламенной подготовки (периода задержки

воспламенения). В связи с этим весьма целесообразным является приближенное прогнозирование основных показателей рабочего процесса дизеля при работе на метанольном топливе, в частности расчетное определение периода задержки воспламенения φ .

Ранее в работах Гуреева А.А., Луканина В.Н., Камфера Г.М. [143...146] были получены уравнения для определения величины φ при работе дизеля на различных топливах, имеющих отличительные физико-химические свойства. Наиболее точно период задержки воспламенения с учетом свойств топлива и параметров топливopодачи позволяет модель, предложенная в работах [144...146]:

$$\bar{\varphi}_1 = \frac{\varphi_1}{\varphi_{\text{впр}}} = \sqrt{6n \cdot 10^{-4}} \left\{ \frac{\ln \left[\rho_{\Sigma} \left(\frac{\theta_{\text{впр}}}{K_{\Gamma\Sigma}} \cdot \theta_{\text{вм}} \right) \right]}{a_{\Sigma}} + \right. \\ \left. + \left[\frac{A_{\Sigma}}{2} \cdot \sqrt{\rho_{\Sigma} \left(\frac{1 - \varphi_{\text{впр}}}{\theta_{\text{впр}}} \right)} \right] \frac{\sqrt{a_1 - 1}}{v_{\Sigma} \cdot \theta_{\text{впр}}} \right\} \quad (2.5)$$

где: φ_1 – период задержки воспламенения в градусах п.к.в.; $\varphi_{\text{впр}}$ – продолжительность впрыскивания в градусах п.к.в.; n – частота вращения, мин⁻¹; ρ_{Σ} – суммарная плотность топлива, подсчитанная для ДТ и метанола с учетом принципа аддитивности, г/см³; $\theta_{\text{впр}}$ – установочный угол опережения впрыскивания топлива в градусах п.к.в.; $K_{\Gamma\Sigma}$ – фактор, характеризующий свойства топлива, подсчитанный для ДТ и метанола; $\theta_{\text{вм}}$ – безразмерная температура в момент начала впрыскивания топлива; a_1, a_1 – коэффициенты, зависящие от конструктивных параметров дизеля и параметров

топливоподати; A_{Σ} - коэффициент, учитывающий свойства МТЭ; Ψ_{Σ} - параметр, учитывающий соотношение скоростей химических и физических реакций.

Плотность ρ_{Σ} подсчитывалась для смеси ДТ и метанола с использованием принципа аддитивности:

$$\rho_{\Sigma} = \rho_1 M_1 + \rho_2 M_2 \quad (2.6)$$

где: ρ_1 - плотность ДТ, г/см³; ρ_2 - плотность метанола, г/см³; M_1 - содержание ДТ, % по объему; M_2 - содержание метанола, % по объему.

Безразмерная температура θ_{me} в момент начала впрыскивания определяется по следующему выражению

$$\theta_{me} = \frac{1}{\frac{\mu L_v}{R T_{me}} + 25 \left(\frac{1}{CQ_{\Sigma}} - \frac{1}{100} \right)}, \quad (2.7)$$

где: μL_v - молярная теплота парообразования, равная

$$\mu L_v = (8,75 + 4,57 \lg T_{50}) T_{50} \quad (2.8)$$

T_{me} - температура в момент начала впрыскивания; R - газовая постоянная; CQ_{Σ} - цетановое число смеси, подсчитанное с использованием принципа аддитивности; T_{50} - средневolumная температура разгонки топлива.

Принимая во внимание, что стандартная зависимость CQ от t для смеси цетана с α -метилнафталином носит гиперболический характер, то при проецировании на действительное значение CQ для МТЭ будет меньшее значения, найденного из условия аддитивности:

$$CQ_{\Sigma} = CQ_{Ад} - \Delta CQ, \quad (2.9)$$

или в развернутой форме:

$$CQ_{\Sigma} = CQ_1 M_1 + CQ_2 M_2 - \Delta CQ, \quad (2.10)$$

где: M_1 - доля дизельного топлива; M_2 - доля метанола; CQ_1 - цетановое число ДТ; CQ_2 - цетановое число метанола; ΔCQ - поправка.

В ряде работ приводится выражение для определения поправки [72]:

$$\Delta CQ = [\ln(100 M_2) - 1] \ln CQ_1, \quad (2.11)$$

В связи с тем, что для создания МТЭ применяется определенное количество эмульгатора, CQ_{Σ} определялось по выражению (2.10) с учетом следующих уравнений:

$$CQ_{Ад} = CQ_1 M_1 + CQ_2 M_2 + CQ_{эм} M_{эм} \quad (2.12)$$

где: $M_{эм}$ - доля эмульгатора; $CQ_{эм}$ - цетановое число эмульгатора

$$\text{и} \quad \Delta CQ = [\ln(100 M_2) - 1] \ln CQ_1 \quad (2.13)$$

$$\text{где:} \quad CQ_1 = CQ_1 \frac{M_1}{M_1 + M_{эм}} + CQ_{эм} \frac{M_{эм}}{M_1 + M_{эм}} \quad (2.14)$$

Связь θ_{me} с энергией активации учитывается, поскольку $E_{эф}$ также определяется по суммарному цетановому числу смеси:

$$\theta_{me} = \frac{R \cdot T_{me}}{E_{эф}}, \quad (2.15)$$

где: $E_{эф}$ - условная энергия активации.

С учетом уравнения (2.8), выражение (2.7) примет вид:

$$\theta_{me} = \frac{1}{(4,41 + 2,3 \lg T_{50}) + 25 \left(\frac{1}{CQ_{\Sigma}} - \frac{1}{100} \right)} \quad (2.16)$$

Фактор, характеризующий свойства топлива, находится из выражения:

$$K_{T\Sigma} = \frac{1,216 \sqrt{T_{50}}}{\rho_{\Sigma}} \quad (2.17)$$

Коэффициент, зависящий от свойств топлива, определяется по формуле:

$$A_{\Sigma} = \frac{K_{T\Sigma} \cdot T_{50}}{CQ_{\Sigma} \cdot T_0}, \quad (2.18)$$

где: $T_0 = 273$ К.

Параметр Ψ_{Σ} , учитывающий соотношение скоростей химических и физических реакций вычисляется по формуле:

$$\psi_{\Sigma} = \sqrt{\alpha_{\Sigma}} \cdot e^{2\alpha_{\Sigma}} \quad (2.19)$$

$$\text{где: } \alpha_{\Sigma} = \frac{K_{\phi\Sigma}}{\theta_{\text{нв}}} (a_1 - 1); \quad (2.20)$$

$$a_1 = \frac{(V_{\text{нв}} - V_c)(\eta_1 - 1) \cdot \Phi_{\text{впр}} \cdot C_v \cdot \alpha_T \cdot l_{OT} \cdot T_{\text{нв}}}{\theta_{\text{впр}} \cdot i_{v,1} \cdot q_{\text{терм.нв}} \cdot V_{\text{нв}}}, \quad (2.21)$$

где: n_1 - показатель политропы сжатия; V_c - объем камеры сгорания; $V_{\text{нв}}$ - объем в момент начала впрыскивания; $\Phi_{\text{впр}}$ - продолжительность впрыскивания; C_v - теплоемкость воздуха; α_T - коэффициент избытка воздуха по дизельному процессу; l_{OT} - стехиометрический коэффициент дизельного топлива; $i_{v,1}$ - относительная степень испарения смеси к моменту Φ ; $q_{\text{терм.нв}}$ - теплота, необходимая для полного испарения и перегрева 1 кг ДТ с температурой $T_{\text{то}}$ в среде $T_{\text{нв}}$; $T_{\text{нв}}$ - начальная температура ДТ;

Объем $V_{\text{нв}}$ определяется из выражения:

$$V_{\text{нв}} = \frac{V}{2} \left[\frac{\varepsilon + 1}{\varepsilon - 1} \cdot \cos \varphi + \frac{\lambda}{4} (1 - \cos 2\lambda) \right], \quad (2.22)$$

где: λ - отношение радиуса кривошипа к длине шатуна; ε - степень сжатия.

Безразмерная характеристика стока теплоты определяется из следующего выражения:

$$K_{\phi\Sigma} = \frac{i_{v1} \cdot q_{\text{терм.нв}}}{C_v \cdot T_{\text{нв}} \cdot \alpha_T \cdot l_{OT}}, \quad (2.23)$$

При этом $q_{\text{терм.нв}}$ определяется из выражения:

$$q_{\text{терм.нв}} = C_T (T_{30} - T_{\text{то}}) + L_{\text{вт}} + 0,5 C_T (T_{\text{нв}} - T_{30}) \quad (2.24)$$

где: C_T - теплоемкость жидкого ДТ, и равна его теплоемкости в паровой фазе; $L_{\text{вт}}$ - теплота парообразования; $T_{\text{то}}$ - начальная температура ДТ.

В случае подачи метанола на впуск для учета уменьшения затрат теплоты в цилиндре на осуществление физических процессов вводится поправочный коэффициент:

$$\sqrt{\frac{q_M}{q_{\Sigma}}}, \quad (2.25)$$

где: q_M - цикловая подача топлива; q_{Σ} - суммарная цикловая подача топлив и определяется, как $q_{\Sigma} = q_H + q_M$, (2.26)

где: q_M - цикловая подача метанола.

Тогда выражение (2.7) можно записать:

$$\theta_{\text{нв}\Sigma} = \frac{1}{\frac{\mu l_{v\Sigma}}{R T_{\text{нв}}} \sqrt{\frac{q_H}{q_{\Sigma}} + 25 \left(\frac{1}{\Pi \chi_{\Sigma}} - 1 \right)}}, \quad (2.27)$$

а безразмерная характеристика стока теплоты $K_{\phi\Sigma}$ с учетом добавляемого на впуске метанола будет определяться по выражению:

$$K_{\phi\Sigma} = \frac{i_{v1} \cdot q_{\text{терм.нв}}}{C_v \cdot T_{\text{нв}} \cdot \alpha_T \cdot l_{OT}} \cdot \sqrt{\frac{q_H}{q_{\Sigma}}}, \quad (2.28)$$

С учетом влияния метанола, поданного на впуск, на ускорение химических реакций за счет большего количества топливно-воздушной смеси подготовленной к самовоспламенению, параметр Φ , учитывающий соотношение скоростей химических и физических реакций будет вычисляться по формуле:

$$\psi_{\Sigma} = \psi_1 \cdot k_1^2, \quad (2.29)$$

где: k_1 - определяется по формуле:

$$k_1 = 1 + \frac{q_M}{q_H} \cdot \frac{l_{OM}}{l_{OT}}, \quad (2.30)$$

где: l_{OM} - стехиометрический коэффициент метанола.

Для проверки полученных соотношений были проведены расчеты для работы дизеля 24 10,5/12,0 на МТЭ с содержанием метанола от 10 до 30 % на двух режимах 1400 и 1800 мин⁻¹. Полученные результаты представлены в табл. П.1.1 (приложение 1). Сравнение результатов вычислений ϕ с результатами индцирования дизеля дает основание считать, что предлагаемые соотношения можно рекомендовать для приближенной оценки периода задержки воспламенения в дизелях при работе последних на МТЭ.

2.2. Разработка методики применения симплекс-решетчатых планов Шеффе при совместном использовании различных альтернативных топлив в тракторных дизелях

В настоящее время для проведения исследований в области ДВС применяют методы проведения стендовых испытаний и построения по их результатам характеристик с дальнейшим анализом полученных зависимостей. Фактически каждая характеристика представляет собой результат однофакторного эксперимента. Получить картину воздействия двух факторов на функцию отклика при такой методике проведения эксперимента невозможно. В связи с этим, при проведении стендовых испытаний, проводят большое количество экспериментов, снимая регулировочные, нагрузочные и скоростные характеристики с целью получения подробной картины воздействия какого-либо фактора на различные показатели работы двигателя.

Поэтому применение теории планирования экспериментов в дизелестроении имеет ряд преимуществ. В первую очередь это снижение времени на оптимизацию процесса даже при изменении многих факторов. К преимуществам теории планирования экспериментов также можно отнести: - возможность использования для изучения процессов любой физической природы; - возможность управлять исследованием и прогнозировать

ожидаемые результаты; - возможность выделить и минимизировать число или подмножество исследуемых элементов или параметров систем; - возможность проведения сравнительного анализа результатов других исследований; - возможность оценки точности построения моделей по результатам экспериментов.

Широкому внедрению теории планирования эксперимента предшествовали работы Бокса и Уилсона (1951 год), а также работы советских ученых Налимова В.В., Федорова В.В., Марковой Е.В., Круть Г.К. и др. [163...193]. В настоящее время имеется опыт применения теории планирования эксперимента в дизелестроении, что значительно повышает качество научных исследований [6, 7, 166...184].

Анализ работ показывает, что исследования идут как в направлении совершенствования методологии планирования эксперимента, так и в направлении накопления опыта по использованию теории планирования при изучении процессов, протекающих в ДВС. В работе [163] проведен анализ исследований по применению теории планирования эксперимента в ДВС.

Авторами [6, 7, 24, 42, 166...170, 173...184] делается обобщенный вывод о том, что теорию планирования эксперимента можно успешно применять, в первую очередь, при исследовании рабочих процессов и токсичности ОГ ДВС, особенно при проведении ускоренных испытаний. Однако необходимо отметить, что практически во всех исследованиях в области ДВС при применении теории планирования эксперимента авторы используют планы для проведения экстремальных экспериментов. Вместе с тем, на наш взгляд, при планировании экспериментов с использованием различных видов топлива, необходимо получить истинную картину влияния составов или соотношений этих топлив на основные показатели работы дизеля, выход токсичных компонентов с ОГ и т.д. После проведения оптимизации факторов с целью получения наилучших функций отклика,

возможно исследование этих оптимальных составов при изменении режимных факторов с последующей оптимизацией, именно по этим факторам.

Для исследования совместного взаимодействия подачи дизельного топлива, метанола и воды в цилиндры дизеля на его основные экономические и токсические показатели нами предлагается следующая методика на основе симплекс-решетчатых планов Шеффе. Данная методика позволяет изучить свойства смеси топлив, которые зависят только от соотношений компонентов. Факторное пространство представляет собой правильный $(q-1)$ -мерный симплекс. Для системы должно выполняться условие нормировки:

$$\sum_{i=1}^q x_i = 1; x_i \geq 0, i = 1, 2, \dots, q, \quad (2.31)$$

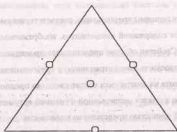
где: $x_i \geq 0$ - концентрация компонента; q - количество компонентов.

Для трехкомпонентной системы правильный симплекс - равносторонний треугольник: каждая точка треугольника отвечает одному определенному составу тройной системы и, наоборот, каждый состав представляется одной определенной точкой. Состав может быть выражен в мольных, весовых или объемных долях или процентах. Вершины треугольников соответствуют чистым веществам, стороны - двойным системам. Опустив из каждой вершины треугольника высоту, разделив каждую из них на десять равных по величине отрезков и проведя через полученные деления прямые, параллельные сторонам треугольника, получим треугольную сетку. Приближение от каждой данной стороны к противоположной вершине отвечает пропорциональному возрастанию содержания соответствующего компонента, поэтому прямые, параллельные данной стороне, при последовательном переходе от одной прямой к другой отражают возрастание третьего компонента на 10 %. Точки, лежащие на пря-

мой, выходящей из вершин треугольника, соответствуют смесям с постоянным отношением содержаний компонентов, изображаемых двумя другими вершинами. Свойство обычно представляют проекциями линий равного значения на плоскость концентрационного треугольника. При планировании эксперимента на диаграммах состав-свойство предполагается, что изучаемое свойство является непрерывной функцией аргументов и может быть с достаточной точностью представлено полиномом.

Использование методов планирования эксперимента позволяет значительно снизить объем эксперимента при изучении многокомпонентных систем, отпадает необходимость в пространственном представлении сложных поверхностей, так как свойства можно определять из уравнений. При этом возможно сохранение графической интерпретации результатов исследований. Поверхность отклика в многокомпонентной системе имеет, как правило, очень сложный характер. Для адекватного описания таких поверхностей необходимыми полиномами высоких степеней и, следовательно, большее количество опытов.

Симплекс-решетчатые планы Шеффе обеспечивают равномерный разброс экспериментальных точек по $(q-1)$ -мерному симплексу. Экспериментальные точки представляют собой $\{q, n\}$ -решетку на симплексе, где q -число компонентов смеси; n - степень полинома. Симплекс-решетчатые планы являются насыщенными планами. На рис. 2.1 представлена $\{3, 3^1\}$ -решетка для полинома неполной третьей степени, которую можно получить из $\{3, 2\}$, добавив только одну точку в центре симплекса, используя свойство частичной композиционности этих планов. Зная координаты точек симплексной решетки, получим матрицу планирования. В табл. 2.1 представлена матрица плана Шеффе для модели неполной третьей степени.

Рис. 2.1. $(3, 3^2)$ — решетка для полинома неполной степени

Матрица плана Шеффе для модели неполной третьей степени

Таблица 2.1

Номер опыта	Индекс отклика	Матрица планирования		
		x_1	x_2	x_3
1	y_1	1	0	0
2	y_2	0	1	0
3	y_3	0	0	1
4	y_{12}	0,5	0,5	0
5	y_{13}	0,5	0	0,5
6	y_{23}	0	0,5	0,5
7	y_{123}	1/3	1/3	1/3

Коэффициенты полиномов получают, используя свойства насыщения плана: число экспериментальных точек в нем равно числу оцениваемых параметров в уравнении регрессии.

В общем случае для q -компонентной смеси полином неполного третьего порядка имеет вид:

$$y = \sum_{1 \leq i \leq q} \beta_i x_i + \sum_{1 \leq i < j \leq q} \beta_{ij} x_i x_j + \sum_{1 \leq i < j < k \leq q} \beta_{ijk} x_i x_j x_k, \quad (2.32)$$

$$\text{где: } \beta_i = y_i, \quad (2.33)$$

$$\beta_{ij} = 4y_{ij} - 2y_i - 2y_j, \quad (2.34)$$

$$\beta_{ijk} = 27y_{ijk} - 12(y_{ij} + y_{jk} + y_{ik}) + 3(y_i + y_j + y_k). \quad (2.35)$$

Полином неполного третьего порядка для трехкомпонентной смеси имеет следующий вид:

$$y = \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 - \beta_3 x_3 + \beta_{12} x_1 x_2 + \beta_{13} x_1 x_3 + \beta_{23} x_2 x_3 + \beta_{123} x_1 x_2 x_3, \quad (2.36)$$

$$\text{где: } \beta_i = y_i \text{ и т.д.}, \quad (2.37)$$

$$\beta_{12} = 4y_{12} - 2y_1 - 2y_2 \text{ и т.д.}, \quad (2.38)$$

$$\beta_{123} = 27y_{123} - 12(y_{12} + y_{13} + y_{23}) + 3(y_1 + y_2 + y_3). \quad (2.39)$$

После определения коэффициентов уравнения регрессии необходимо провести статистический анализ полученных результатов: проверить адекватность уравнения и построить доверительные интервалы значений отклика, предсказываемые по уравнению регрессии. При одинаковом числе параллельных опытов на каждом сочетании уровней факторов воспроизводимость процесса проверяется по критерию Кохрена:

$$G = \frac{Su^2}{\sum_{u=1}^m Su^2} \leq G(0,05; f_n; f_u), \quad (2.40)$$

$$\text{где: } Su^2 = \frac{\sum (y_{np} - \bar{y}_n)^2}{m-1} - \text{дисперсия, характеризующая рассеяние}$$

результатов опытов на u -м сочетании уровней факторов; $p = 1, 2, \dots, m$ — число параллельных опытов; Su^2_{\max} — наибольшая из дисперсий в

строках плана; $G(0,05; f_n; f_u)$ — табличное значение критерия Кохрена при 5%-уровне значимости; $f_n = m$ — число независимых оценок диспер-

сий воспроизводимости; $f_H = m - 1$ — число степеней свободы каждой оценки.

Для проверки адекватности ставят опыты в дополнительных, так называемых контрольных точках. Число контрольных точек и их координаты связывают с постановкой задачи и особенностями эксперимента. При этом стараются предусмотреть возможность использования точек для улучшения модели. Для каждой проверочной точки строится t — статистика, критическая область определяется для каждой точки по уровню значимости $P/2k$, где k — число проверочных точек; p — уровень значимости.

$$t = \frac{\Delta y \sqrt{n}}{S_y \sqrt{1 + \xi}} \quad (2.41)$$

где: $\Delta y = |\bar{y}_{эксп} - y_{расч}|$, n — число параллельных опытов в каждой точке; S_y — среднее квадратическое отклонение; ξ — величина, зависящая только от состава смеси.

Для трехкомпонентной смеси величина ξ представлена графически проекциями линий уровня на симплекс. Величина t , распределенная по закону Стюдента сравнивается с табличными значениями $t_{p, f}$, где f — число степеней свободы дисперсии воспроизводимости. Гипотеза об адекватности уравнения принимается если $t_{эксп} < t_{таб}$ для всех контрольных точек.

При изучении диаграмм состав-свойство q — компонентных смесей в случае применения различных видов топлива возникает необходимость исследовать зависимость свойства от состава не во всей области изменения концентраций компонентов $0 \leq x_i \leq 1$, а в локальном участке диаграммы

$$0 \leq a_i \leq x_i \leq a_i + \xi, \quad i = 1, 2, \dots, q \quad (2.42)$$

по техническим и конструктивным соображениям. Например, по соображению высокой "жесткости" работы дизеля подача метанола на впуске

должна быть ограничена 30%, подача воды также должна быть ограничена. При исследовании другого способа подачи метанола, его подача должна быть ограничена уже 90%, а подача воды должна достигать 50% от значения принятого за 1 для данного компонента. Локальная область на диаграмме в таком случае может быть представлена неправильным симплексом, координаты вершин которого:

$$A_1(x_1^{(1)}, x_2^{(1)}, \dots, x_q^{(1)}), \quad (2.43)$$

$$A_2(x_1^{(2)}, x_2^{(2)}, \dots, x_q^{(2)}), \dots, \quad (2.44)$$

$$A_q(x_1^{(q)}, x_2^{(q)}, \dots, x_q^{(q)}), \quad (2.45)$$

известны.

Для того, чтобы в этом случае было возможно применить планы Шеффе, необходимо провести перенормировку и принять составы в вершинах:

$$A_j, \quad j = 1, 2, \dots, q \quad (2.46)$$

за самостоятельные псевдокомпоненты так, чтобы для всей области локального симплекса выполнялось условие нормировки:

$$\sum_{i=1}^q z_i = 1. \quad (2.47)$$

Для проведения экспериментов необходимо перейти от псевдокомпонентов z_i к исходным компонентам x_i . Относительно новых переменных z_1, z_2, \dots, z_q , удовлетворяющих условию возможно построение планов Шеффе.

Для любой u -й точки плана этот пересчет осуществляется по формуле:

$$x_1^{(u)} = z_1^{(u)}(x_1^{(2)} - x_1^{(1)}) + z_3^{(u)}(x_1^{(3)} - x_1^{(1)}) + \dots + z_q^{(u)}(x_1^{(q)} - x_1^{(1)}), \quad (2.48)$$

где: x_i — содержание i -го компонента в вершине $z_j(A_j)$.

Реализовав план, рассчитывают коэффициенты уравнения регрессии в координатах псевдокомпонентов: $\hat{y} = f(z_1, z_2, \dots, z_q)$, (2.49)

используя ранее приведенные формулы (2.40, 2.41) и проверяют воспроизводимость процесса и его адекватность. Для практического использования уравнение (2.49) записывают в исходной системе координат при помощи перевода координат из одной системы в другую:

$$z_1 = z_1^{(1)} + x_2(z_1^{(2)} - z_1^{(1)}) + x_3(z_1^{(3)} - z_1^{(1)}) + \dots + x_q(z_1^{(q)} - z_1^{(1)}), \quad (2.50)$$

$$z_2 = z_2^{(1)} + x_2(z_2^{(2)} - z_2^{(1)}) + x_3(z_2^{(3)} - z_2^{(1)}) + \dots + x_q(z_2^{(q)} - z_2^{(1)}), \quad (2.51)$$

$$\dots \dots \dots$$

$$z_{q-1} = z_{q-1}^{(1)} + x_2(z_{q-1}^{(2)} - z_{q-1}^{(1)}) + x_3(z_{q-1}^{(3)} - z_{q-1}^{(1)}) + \dots + x_q(z_{q-1}^{(q)} - z_{q-1}^{(1)}). \quad (2.52)$$

Значения $z_i^{(j)}$ находят при решении $(q-1)$ систем уравнений:

$$\left. \begin{aligned} x_1^{(1)} z_1^{(1)} + x_2^{(1)} z_1^{(2)} + x_3^{(1)} z_1^{(3)} + \dots + x_q^{(1)} z_1^{(q)} &= 1 \\ x_1^{(2)} z_1^{(1)} + x_2^{(2)} z_1^{(2)} + x_3^{(2)} z_1^{(3)} + \dots + x_q^{(2)} z_1^{(q)} &= 0 \\ \dots \dots \dots \\ x_1^{(q)} z_1^{(1)} + x_2^{(q)} z_1^{(2)} + x_3^{(q)} z_1^{(3)} + \dots + x_q^{(q)} z_1^{(q)} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (2.53)$$

$$\left. \begin{aligned} x_1^{(1)} z_2^{(1)} + x_2^{(1)} z_2^{(2)} + x_3^{(1)} z_2^{(3)} + \dots + x_q^{(1)} z_2^{(q)} &= 0 \\ x_1^{(2)} z_2^{(1)} + x_2^{(2)} z_2^{(2)} + x_3^{(2)} z_2^{(3)} + \dots + x_q^{(2)} z_2^{(q)} &= 1 \\ \dots \dots \dots \\ x_1^{(q)} z_2^{(1)} + x_2^{(q)} z_2^{(2)} + x_3^{(q)} z_2^{(3)} + \dots + x_q^{(q)} z_2^{(q)} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (2.54)$$

$$\left. \begin{aligned} x_1^{(1)} z_{q-1}^{(1)} + x_2^{(1)} z_{q-1}^{(2)} + x_3^{(1)} z_{q-1}^{(3)} + \dots + x_q^{(1)} z_{q-1}^{(q)} &= 0 \\ x_1^{(2)} z_{q-1}^{(1)} + x_2^{(2)} z_{q-1}^{(2)} + x_3^{(2)} z_{q-1}^{(3)} + \dots + x_q^{(2)} z_{q-1}^{(q)} &= 0 \\ \dots \dots \dots \\ x_1^{(q)} z_{q-1}^{(1)} + x_2^{(q)} z_{q-1}^{(2)} + x_3^{(q)} z_{q-1}^{(3)} + \dots + x_q^{(q)} z_{q-1}^{(q)} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (2.55)$$

где: $z_i^{(j)}$ - содержание псевдокомпонента z_i в вершинах исходного симплекса; x_i^j - содержание i -го компонента в вершинах $z_j(A_j)$, $j = 1, 2, \dots, q$. Поскольку такой перевод координат возможен только для уравнений с независимыми переменными исходное уравнение регрессии необходимо преобразовать, исключив одну переменную, например q -ю:

$$z_q = 1 - \sum_{i=1}^{q-1} z_i. \quad (2.56)$$

Зависимость свойств трехкомпонентных смесей от их состава могут быть наглядно представлены изолиниями свойств в барицентрических координатах - треугольными диаграммами состав-свойство. Треугольная диаграмма-это равносторонний треугольник, стороны которого являются осями координат, а любой точке, принадлежащей треугольнику, соответствует единственный состав смеси. Аналитическое выражение координат точек, принадлежащих изолиниям трудоемко. Поэтому с помощью ПЭВМ производят решение уравнений u при фиксированных значениях $x_1 = 0, 0; 0,1; \dots; 1,0$ и выполнении равенств $x_3 = 1 - x_1 - x_2$. Затем по полученным данным строят кривые $x_1 = 0, 0; 0,1; \dots; 1,0$ в координатах u и x_2 .

При постоянных значениях u находят x_2 при различных x_1 из вспомогательного графика и переносят на треугольную диаграмму состав-свойство. Диаграммы строятся для каждого критерия оптимизации. Изолинии свойств на диаграммах состав-свойство наглядно показывают об-

ласть экстремальных значений. Для решения задачи оптимизации процесса по нескольким критериям необходимо решить вопрос об определяющем параметре. В дальнейшем диаграммы с различными параметрами, совмещаются и наглядно определяется область оптимальных составов смесей по определяющему параметру оптимизации.

3. МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ПРИМЕНЕНИЮ МЕТАНОЛА В ТРАКТОРНЫХ ДИЗЕЛЯХ

3.1. Методика исследований тракторных дизелей при применении метанола на впуске и с системой двойной топливopодачи

3.1.1. Общая методика исследований тракторных дизелей при применении метанола на впуске и с системой двойной топливopодачи

Исследования тракторных дизелей при применении метанола на впуске и с системой двойной топливopодачи проводится в несколько этапов. Общая структурная схема стендовых исследований тракторного дизеля при использовании метанола на впуске и с системой двойной топливopодачи представлена на рис. 3.1. На первом этапе предусматривалось определение оптимальных регулировок, получение эффективных показателей, определение параметров рабочего процесса дизеля путем индиферирования, а также токсичности и дымности ОГ на различных скоростных и нагрузочных режимах при работе на ДТ.

На втором этапе предусматривалось определение оптимальных регулировок, получение эффективных показателей, определение параметров рабочего процесса путем индиферирования, токсичности и дымности ОГ дизеля на различных скоростных и нагрузочных режимах при работе с подачей метанола на впуске.

На третьем этапе предусматривалось определение оптимальных регулировок, получение эффективных показателей, определение параметров рабочего процесса путем индиферирования, токсичности и дымности ОГ дизеля на различных скоростных и нагрузочных режимах при работе с подачей метанола непосредственно в КС через форсунку и воспламенением от запальной порции ДТ (двойная система топливopодачи).

На четвертом этапе исследовалось совместное влияние подачи метанола и

При монтаже оборудования и приборов, проведении исследований стабильности и стендовых испытаний, газовом анализе учитывались требования ГОСТа 18509-88, ГОСТа 20000-82, ГОСТа 14921-78, ГОСТа 17.2.2.05-86, ОСТа 23.1.440-76, ОСТа 23.1.441-76, а при анализе результатов требований ГОСТа 17.2.1.01-76, ГОСТа 17.2.1.02-76, ГОСТа 17.2.1.03-84, ГОСТа 17.2.1.04-77 [8...17, 194...197]. Обработка индикаторных диаграмм рабочего процесса дизеля при работе на различных режимах осуществлялось с помощью ЭВМ ЕС-1020 по методике ЦНИДИ [198, 199].

Отбор и анализ проб ОГ производился на автоматической системе газового анализа АСТА-Т с соблюдением требований инструкции к установке. При некоторых испытаниях отбор проб ОГ производился с помощью пробоотборного зонда, изготовленного и установленного согласно ОСТа 23.1.440-76 [196], в вакуумированные стеклянные пипетки согласно методике [200] для последующего анализа на газоанализаторах.

Перед началом испытаний новый двигатель проходил обкатку продолжительностью 60 мото-часов на режимах, согласно технической документации завода-изготовителя. Перед началом проведения испытаний двигатель прогревался до температуры масла в поддоне в пределах 85...95°C. Температура окружающего воздуха и топлива во время опытов не превышала значений, указанных в технической документации завода-изготовителя. Техническое обслуживание дизелей проводилось в соответствии с инструкцией завода-изготовителя.

Значения мощности двигателя, крутящего момента, среднего эффективного давления и расходы топлива на различных скоростных режимах приводились к стандартным атмосферным условиям, температуре и плотности топлива согласно ГОСТа 18509-88. После прогрева двигатель выводился на номинальный скоростной режим работы и определялись эффективные показатели. Этот режим являлся контрольным. Отклонения эффек-

тивных показателей дизеля более чем на 2% свидетельствовали о нарушении работы какой-либо системы двигателя, которое сразу же устранялось. После окончания испытаний дизель вновь выводился на контрольный режим и показатели проверялись. Для выравнивания температур дизель перед началом измерений работал на каждом режиме не менее 5 мин. Частота вращения коленчатого вала дизеля не отличалась от заданной более чем на 5 мин⁻¹. Объем камеры сгорания при установке датчика индикатора для индицирования дизеля увеличивался за счет соединительного канала под датчиком не более, чем на 1%, а отношение диаметра соединительного канала к его длине было больше 1. Для уменьшения погрешностей измерений, замер показателей при испытаниях в каждом опыте повторялся не менее 3 раз, а результат усреднялся. Таким же образом производился газовый анализ и определение дымности ОГ.

3.1.2. Особенности методики исследований тракторных дизелей при применении метанола на впуске

При подаче метанола во впускной трубопровод дизеля важным являлось определение оптимального количества подаваемого на впуске топлива. Поскольку метанол способствует увеличению периода задержки воспламенения и повышению, вследствие этого, жесткости процесса сгорания, то максимально допустимая подача метанола определялась по результатам индицирования дизеля при работе с подачей различного количества метанола на впуске. Значение максимальной скорости нарастания давления служило критерием, определяющим допустимое увеличение жесткости процесса сгорания из-за увеличения периода задержки воспламенения. Критическим считалось значение $(dp/d\varphi)_{max}$, при котором на слух регистрировалась чрезмерная жесткость процесса, т.е. появлялись звонкие стуки, сходные по характеру с детонационными стуками в карбюраторном двигателе. Оптимальный установочный угол опережения

выскакивания топлива определялся из соответствующей регулировочной характеристики, для построения которой снимался ряд регулировочных характеристик по подаче топлива при различных значениях установочного угла опережения выскакивания топлива и разных количествах подаваемого на выпуск метанола [6, 7, 201, 202]. Нагрузочные и скоростные характеристики дизеля снимались при разных количествах подаваемого на выпуск метанола, но не выше допустимого предела, определенного по результатам индцирования.

Подача метанола осуществлялась в процентном отношении к подаче ДТ. Это соотношение поддерживалось постоянным при изменении нагрузочного или скоростного режима. Схема топливной системы для подачи метанола показана на рис. 3.2. Для подачи метанола во впускной трубопровод использовался беспоплавокый карбюратор представленный на рис. 3.3. Поддача метанола регулировалась изменением проходного сечения жиклера с помощью регулировочной иглы. Замер расхода метанола производился объемным способом [201...205].

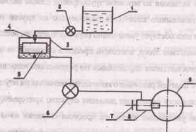


Рис. 3.2. Схема системы подачи метанола во впускной трубопровод дизеля 2Ч 10,5/12,0: 1 - бак для метанола; 2 - кран; 3 - топливный насос; 4 - заборный шланг; 5 - подпиток; 6 - управляющий кран; 7 - регулировочная игла; 8 - карбюратор; 9 - впускной трубопровод

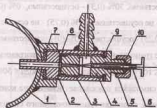


Рис. 3.3. Схема беспоплавокго карбюратора для подачи метанола во впускной трубопровод: 1 - впускной трубопровод; 2 - корпус карбюратора; 3 - жиклер; 4 - корпус регулировочной иглы; 5 - гайка сальника регулировочной иглы; 6 - регулировочная игла; 7, 8, 9 - уплотнительные прокладки; 10 - сальник

3.1.3. Особенности методики исследований тракторных дизелей при применении метанола и воды на впуске на основе теории планирования эксперимента

Для определения влияния подачи метанола и воды во впускной трубопровод на эксплуатационные показатели дизеля, применялась методика на основе теории планирования эксперимента, подробно изложенная в главе 2.2. Эксперимент производился на номинальной частоте вращения при оптимальном установочном угле опережения выскакивания топлива, по симплексу решетчатому плану Шеффе при исследовании локальных участков диаграмм состав-свойство [6, 7, 201, 202, 204, 206].

С учетом технической возможности реализации состава смесей для дизеля 2Ч 10,5/12,0 расположение триангулированных компонентов x_1 , x_2 , x_3 и область экспериментирования может быть представлена на рис. 3.4. На локальный участок и область экспериментирования накладывались следующие ограничения: - по дизельному топливу: 100% (1,0) - осуществимо, 75% (0,75) - осуществимо, 50% (0,5) - осуществимо, 25% (0,25) - не осуществимо, 0% (0) - не осуществимо; - по метанолу: 100% (1,0) - не осуществимо, 75% (0,75) - не осуществимо,

50% (0,5) - не осуществимо, 30% (0,3) - осуществимо, 0% (0) - осуществимо; по воде: 100% (1,0) - не осуществимо, 75% (0,75) - не осуществимо, 50% (0,5) - осуществимо, 25% (0,25) - осуществимо, 0% (0) - осуществимо.

В общем случае границы локального участка диаграммы лежат в следующей зоне: $50\% \leq ДТ \leq 100\%$; $0 \leq \text{метанол} \leq 30\%$; $0 \leq \text{вода} \leq 50\%$.

Нижняя грань симплекса показывает изменение концентрации ДТ от 0 до 1,0 слева направо, а нижняя грань локального симплекса в натуральных переменных позволяет изменить концентрацию ДТ от 0,5 до 1,0. Правая грань симплекса показывает изменение концентрации метанола от 0 до 1,0, а правая грань локального симплекса в натуральных переменных позволяет изменить концентрацию метанола от 0 до 0,3. Левая грань симплекса показывает изменение концентрации воды в смеси от 0 до 0,5 [202, 206, 207].

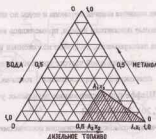


Рис. 3.4. Расположение триангулированных компонентов и область экспериментирования (заштрихованный участок) при подаче метанола и воды на впуске дизеля 2Ч 10,5/12,0

Состав триангулированных компонентов для исследования локальной области диаграммы состав-свойство для дизеля 2Ч 10,5/12,0 при подаче метанола и воды на впуске представлен в табл. 3.1. Для уменьшения влияния внешних

неконтролируемых факторов последовательность проведения опытов была рандомизирована во времени с помощью таблицы случайных чисел.

Таблица 3.1

Состав триангулированных компонентов при работе дизеля 2Ч 10,5/12,0 с подачей метанола и воды на впуске

Фактор	Состав смеси, %		
	Дизельное топливо (ДТ)	Метанол (М)	Вода (В)
x_1	100	0	0
x_2	50	50	0
x_3	50	20	30

Переход от натуральных компонентов к кодовым и обратно производится путем решения системы уравнений:

$$\left. \begin{aligned} ДТ &= 100x_1 + 50x_2 + 50x_3 \\ В &= 50x_2 + 20x_3 \\ М &= 30x_3 \end{aligned} \right\} \quad (3.1)$$

Матрица плана Шеффе и условия опытов для модели третьей степени представлены в табл. 3.2. Реализованы планы, рассчитывались коэффициенты уравнений регрессии в координатах псевдокомпонентов:

$$y = f(A_1, A_2, \dots, A_3)$$

Используя известные зависимости, проверялась воспроизводимость процесса и адекватность уравнений регрессии. По полученным уравнениям регрессии зависимости свойств трехкомпонентных смесей от их состава представлялись изолиниями свойств в барицентрических координатах - треугольными диаграммами состав-свойство.

Таблица 3.2
Матрица плана Шеффе и условия опытов для модели неполной третьей степени

Номер опыта	Индекс отклика	Матрица планирования			Состав смеси, %		
		x_1	x_2	x_3	ДТ	В	М
1	y_1	1	0	0	100	0	0
2	y_2	0	1	0	50	50	0
3	y_3	0	0	1	50	20	30
4	y_{12}	0,5	0,5	0	75	25	0
5	y_{13}	0,5	0	0,5	75	10	15
6	y_{23}	0	0,5	0,5	50	35	15
7	y_{123}	1/3	1/3	1/3	66,67	23,33	10

Треугольная диаграмма представляла равносторонний треугольник, стороны которого являются осями координат, а любой точке, принадлежавшей треугольнику, соответствует единственный состав смеси. Решения уравнений производились с помощью ЭВМ: при фиксированных значениях $x_1 = 0,0; 0,1; \dots; 1,0$ и выполнении равенства $x_3 = 1 - x_1 - x_2$ находилось значение y . Затем по полученным данным строились кривые $x_1 = 0,0; 0,1; \dots; 1,0$ в координатах y и x_2 . При постоянных значениях y находились значения x_2 при различных x_1 из вспомогательного графика и переносились на треугольную диаграмму. Линии, соединяющие точки на треугольной диаграмме, являются изолиниями свойств - треугольными диаграммами состав-свойство. При исследовании локальных участков диаграмм возможно построение диаграмм состав-свойство в координатах псевдокомпонентов. Переход к натуральным переменным в этом случае осуществляется решением системы уравнений 3.1.

3.1.4. Особенности методики исследований тракторных дизелей при применении метанола с системой двойной топливоподачи

Реализация способа использования метанола путем подачи его непосредственно в КС и воспламенением от запальной порции ДТ предусматривала установку двух топливных систем на дизеле 2Ч 10,5/12,0, в том числе двух топ-

ливных насосов высокого давления и двух форсунок на каждый цилиндр. Принципиальная схема системы двойной топливоподачи для подачи метанола и запального топлива представлена на рис. 3.5:

При этом серийная топливная система использовалась для подачи метанола, а для подачи запального ДТ устанавливалась дополнительная система. Топливный насос высокого давления УТН-5 крепился с помощью проставки на посадочное место маслянальной горловины и приводился во вращение от специально изготовленной для базового насоса шлицевой втулки с удлиненными шлицами посредством соединительной муфты с внутренним зубчатым венцом. На фланце проставки для крепежных болтов были прошены пазы, благодаря чему корпус насоса можно проворачивать относительно проставки, меняя при этом установочный угол опережения впрыскивания ДТ, поскольку кулачковый валик насоса оставался неподвижным. Установочный угол опережения впрыскивания метанола на серийном насосе менялся как обычно путем смещения шлицевого фланца относительно зубчатого колеса привода топливного насоса [208, 209]. Для впрыскивания в цилиндр запального ДТ использовались штитовые форсунок ФШ6-2х25; для установки и крепления которых сверлились дополнительные отверстия в головках цилиндров. Определение оптимальных значений установочных углов опережения впрыскивания запального топлива Θ_2 и метанола Θ_1 проводилось из соответствующих регулировочных характеристик. Особенность заключалась в том, что при различных фиксированных углах опережения впрыскивания запального топлива менялся угол опережения впрыскивания метанола и снимались нагрузочные характеристики на каждом из установленных значений углов. По результатам этих характеристик строился график g_e в функции от Θ_1 при разных Θ_2 и по минимальным значениям g_e определялись оптимальные величины углов Θ_2 и Θ_1 .

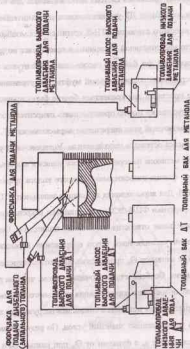


Рис. 3.5. Приблизительная схема системы двойной топливноподачи для подачи метанола и запального ДТ в дизельный двигатель 24 10,5/12,0

Одновременно проводилось индиферирование дизеля. Пуск дизеля и прогрев осуществлялся на ДТ. Затем включалась подача метанола, а подача ДТ уменьшалась до появления пропусков воспламенения, после чего несколько увеличивалась до достижения устойчивой работы дизеля. В дальнейшем цикловая подача запального топлива оставалась постоянной, а регулирование нагрузочного режима велось только изменением подачи метанола [202, 208, 209]. Расход метанола и запального топлива измерялся весовым способом.

3.1.5. Особенности методики исследований тракторных дизелей при применении метанола с системой двойной топливноподачи на основе теории планирования эксперимента

Учитывая высокую гигроскопичность метанола, представляет интерес изучение совместного влияния метанола и воды на эксплуатационные показатели дизеля. При этом для сокращения числа опытов и получения наиболее полной картины влияния метанола и воды на указанные показатели возможно применение диаграмм состав-свойство. За основу принята методика, изложенная в главе 2.2. Дизель 24 10,5/12,0 был оборудован системой двойной топливноподачи для метанола и ДТ, а вода подавалась во впускной трубопровод с помощью карбюратора, использовавшегося ранее для подачи метанола (см. раздел 3.1.2). Подача воды регулировалась изменением проходного сечения жиклера карбюратора, а подача метанола и запального ДТ - изменением положения рейки соответствующего ЛНВД. Расход воды измерялся объемным способом, а расход метанола и запального топлива - весовым способом [6, 7, 202, 208...210]. Применение методики планирования эксперимента с использованием симплекс-решетчатых планов Шеффе для решения поставленной задачи позволило существенно расширить область экспериментирования, которая представлена на рис. 3.6. На локальный участок диаграммы исходя из физически и технически приемлемых соотношений компонентов и

отсутствия возможности реализации работы двигателя при определенных условиях, накладывались следующие ограничения: - по ДТ: 100% (1,0) - осуществимо, 75% (0,75) - осуществимо, 50% (0,5) - осуществимо, 20% (0,2) - осуществимо, 0% (0) - не осуществимо; - по метанолу: 100% (1,0) - не осуществимо, 90% (0,9) - осуществимо, 50% (0,5) - осуществимо, 20% (0,2) - осуществимо, 0% (0) - осуществимо; - по воде: 100% (1,0) - не осуществимо, 75% (0,75) - не осуществимо, 50% (0,5) - осуществимо, 20% (0,2) - осуществимо, 0% (0) - осуществимо. В общем случае границы локального участка диаграммы лежат в следующей зоне: $10\% \leq ДТ \leq 100\%$; $0 \leq \text{метанол} \leq 90\%$; $0 \leq \text{вода} \leq 50\%$.



Рис. 3.6. Расположение триангулированных компонентов и область экспериментирования (заштрихованный участок) при работе двигателя 2 Ч 10,5/12,0 на метаноле с системой двойной топливopодачи и с подачей воды на впуске

В данном случае, нижняя грань симплекса показывает изменение концентрации ДТ от 0 до 1,0 слева направо, а нижняя грань локального симплекса в натуральных переменных позволяет изменить концентрацию ДТ от 0,1 до 1,0. Правая грань симплекса показывает изменение концентрации метанола от 0 до 1,0, а правая грань локального симплекса в натуральных переменных позволяет

изменить концентрацию метанола от 0 до 0,9. Левая грань симплекса показывает изменение концентрации воды от 0 до 1,0, а левая грань локального симплекса в натуральных переменных позволяет изменить концентрацию воды от 0 до 0,5. Состав триангулированных компонентов для исследования локальных участков диаграмм состав-свойство для двигателя 2 Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с двойной системой топливopодачи и подаче воды на впуске представлено в табл. 3.3. Система уравнений для перехода от натуральных компонентов к кодовым и обратно, приобретает вид:

$$\left. \begin{aligned} ДТ &= 100x_1 + 20x_2 + 10x_3 \\ В &= 50x_2 \\ М &= 30x_2 + 90x_3 \end{aligned} \right\} \quad (3.2)$$

Реализация планов, расчет коэффициентов уравнений, проверка воспроизводимости процесса и адекватности, решение полученных уравнений регрессии и построение диаграмм проводилось по методике, изложенной в главе 2.2. Матрица плана Шеффе и условия опытов для этого случая представлены в табл. 3.4.

Таблица 3.3

Состав триангулированных компонентов при работе двигателя 2 Ч 10,5/12,0 на метаноле с двойной системой топливopодачи и подаче воды на впуске

Фактор	Состав смеси, %		
	ДТ	М	В
x_1	100	0	0
x_2	20	50	30
x_3	10	0	90

Для уменьшения влияния внешних неконтролируемых факторов, последовательность проведения опытов была рандомизирована во времени с помощью таблицы случайных чисел. Графоаналитический расчет производился по методике, изложенной в главе 2.2.

Таблица 3.4

Матрица плана Шеффе и условия опытов при работе дизеля на метаноле с поддежной воды на впуске

Номер опыта	Индекс отклика	Матрица планирования			Состав смеси, %		
		x_1	x_2	x_3	ДТ	В	М
1	y_1	1	0	0	100	0	0
2	y_2	0	1	0	20	50	30
3	y_3	0	0	1	10	0	90
4	y_{12}	0,5	0,5	0	60	25	15
5	y_{13}	0,5	0	0,5	55	0	45
6	y_{23}	0	0,5	0,5	15	25	60
7	y_{123}	1/3	1/3	1/3	43,3	16,7	40

3.2. Особенности методики исследований тракторных дизелей при применении метано-топливных эмульсий

3.2.1. Общая методика исследований тракторных дизелей при применении метано-топливных эмульсий

Исследования тракторных дизелей при применении МТЭ проводились в несколько этапов.

На первом этапе предусматривалось определение оптимальных регулировок, получение эффективных показателей, определение параметров рабочего процесса тракторного дизеля путем индцирования, токсичности и дымности ОГ на различных скоростных и нагрузочных режимах при работе на ДТ. На втором этапе предусматривалось определение влияния добавок широко доступных ПАВ и воды на стабильность МТЭ к седиментации и

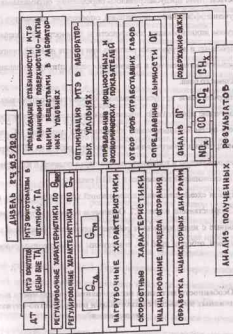


Рис.3.7. Структурная схема исследований тракторного дизеля 2 ч 10,5/12,0 при использовании метано-топливных эмульсий

коалесценции с оптимизацией состава эмульсии. Производился выбор эмульгаторов для различных способов приготовления и использования эмульсий в дизелях.

На третьем этапе предусматривалось определение оптимальных регулировок, получение эффективных показателей, определение параметров рабочего процесса путем индцирования, токсичности и дымности ОГ дизеля на различных скоростных и нагрузочных режимах при работе на МТЭ, приготовленных с помощью гомогенизатора и подающейся через штатную топливную систему из топливного бака.

На четвертом этапе предусматривалось определение оптимальных регулировок, получение эффективных показателей, определение параметров рабочего процесса путем индцирования, токсичности и дымности ОГ дизеля на различных скоростных и нагрузочных режимах при работе на МТЭ, приготовленных непосредственно в топливном насосе перед подачей в КС, причем метанол и ДТ до смешивания подавались в ТНВД раздельно.

Структурная схема стендовых исследований тракторного дизеля при работе на МТЭ представлена на рис. 3.7. Остальные вопросы методики исследований, связанные с индцированием рабочего процесса, обработкой индикаторных диаграмм, отбором проб ОГ, аналогичны рассмотренным ранее в разделе 3.1.

3.2.2. Особенности методики исследований стабильности метано-топливных эмульсий с различными поверхностно-активными веществами

Исследования проводились по методике НПО "Синтез ПАВ" [211]. С целью возможности применения метанола-сырца с высоким содержанием воды в испытаниях применялся технический метанол по ГОСТ 2222-78 с последующим добавлением воды, количество которой оптимизировалось. При этом го-

товилась эмульсия, содержащая 20, 30 и 40% метанола, 0,5% выбранного эмульгатора и различное количество воды. По полученным результатам стабильности определялось оптимальное количество воды и дальнейшие исследования проводились при определенном значении ее содержания.

Компоненты для приготовления МТЭ предварительно навешивались на электронных весах. При этом для каждого из значений концентрации метанола, равных 5, 10, 20, 30 и 40%, приготавливалось по три пробы эмульсии с содержанием эмульгатора 0,5, 1,0 и 2,0%. Процентное соотношение ингредиентов эмульсий, выражалось в массовых долях от массы всей пробы, которая оставалась равной 100 г во всех случаях за счет изменения количества ДТ. В метаноле же предварительно было растворено выбранное оптимальное количество воды. Приготовление указанного количества проб эмульсий производилось с использованием каждого из шести выбранных эмульгаторов: пентола, адмилла, нефтяного сульфоната, амикрома, ТЭП-101, С-5А. Требуемое количество эмульгатора растворялось в ДТ, после чего добавлялся раствор метанола и воды. Эмульсия готовилась на гомогенизаторе МРВ-324 (Польша) при частоте вращения вала 2000 мин⁻¹ в течение 120 секунд. Полученная проба эмульсии переносилась в градуированную пробирку, после чего производились наблюдения за ее стабильностью [212]. Первоначально за критерий стабильности принималось время до появления визуально наблюдаемых изменений (осада или отстой) в пробе эмульсии - время до начала седиментации. По полученным данным строились изотермы стабильности. На основе анализа полученных результатов и с учетом доступности ПАВ производился их выбор для различных способов приготовления эмульсии: в топливной системе дизеля и вне ее.

Эффективность ПАВ, выбранного для случая приготовления эмульсии вне топливной системы дизеля оценивалась также по стабильности эмульсий к седиментации - способности сохранять свою начальную концентрацию по высоте столба пробы, налитой в пробирку, характеризующейся временем накоп-

ления высоко- или низкоконцентрированного осадка или отстоя, выраженного в процентном отношении к первоначальной высоте столба пробы. При этом проводились наблюдения за пробами эмульсий, содержащих 40% метанола и 0,5, 1,0 и 2,0% ПАВ. Для всех исследуемых проб эмульсий определялась стабильность к коалесценции, которая характеризовалась временем до полного разделения испытуемой пробы на углеводородную и спиртовую фазы. При этом пробирки с пробами эмульсий закрывались хорошо притертыми пробками. В процессе опыта выдерживалось равенство температурных режимов. Пробы с использованием ПАВ, выбранного для случая приготовления эмульсий вне топливной системы дизеля приготавливались еще раз. При этом использовалось определенное количество эмульгатора, выбранное на основании результатов исследований стабильности, которое оставалось постоянным при дальнейших испытаниях. Для этих проб определялись плотность и вязкость эмульсии.

3.2.3. Особенности методики исследований тракторных дизелей путем применения метанола-топливных эмульсий

При работе дизеля на МГЭ важным являлось определение оптимального количества метанола, содержащегося в эмульсии. Так, наибольшая допустимая концентрация метанола в эмульсии определялась по результатам индцирования дизеля при работе на МГЭ различного состава. Нагрузочные и скоростные характеристики дизеля снимались при разных концентрациях метанола в эмульсии, но не выше допустимого предела, определенного по результатам индцирования. Концентрация метанола определялась в процентном отношении к массе эмульсии. Концентрация воды выбиралась с учетом проведенных исследований стабильности и оставалась постоянной величиной по отношению к массе метанола в эмульсии, равной 10 масс. %

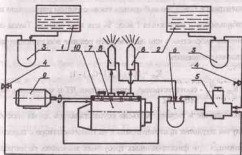


Рис. 3.8. Схема топливной системы для приготовления и подачи эмульсии дизеля 24 10,5/12,0: 1 - бак для ДТ; 2 - бак для метанола; 3 - фильтр грубой очистки; 4 - вентиль; 5 - подкачивающий насос; 6 - фильтр тонкой очистки; 7 - ТНВД; 8 - форсунки; 9 - электродвигатель; 10 - смеситель

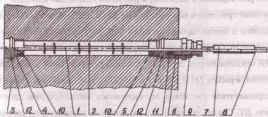


Рис. 3.9. Схема смесителя для приготовления МГЭ в ТНВД УТН-5: 1 - вал смесителя; 2 - мешалка; 3 - корпус насоса; 4 - опоры; 5 - штуцер; 6 - болт; 7 - муфта; 8 - вал электродвигателя; 9 - конграйва; 10 - шальник; 11 - шпильки; 12 - кольцо уплотнительное

Концентрация присадки выбиралась также с учетом результатов исследований стабильности и составляла 1 масс. % для всех опытов. Таким образом, при изменении скоростного или нагрузочного режима всегда поддерживалось постоянным соотношением:

$$K_{\text{пр}} = 100 \cdot K_{\text{м}}(1+0,1) \cdot 1; \quad (3.3)$$

где: $K_{\text{пр}}$ и $K_{\text{м}}$ - соответственно, концентрации ДТ и метанола в эмульсии, масс. %.

Приготовление и подача эмульсии осуществлялись двумя способами. В первом случае эмульсия приготавливалась на гомогенизаторе с использованием сукцинимида при фиксированных требуемых значениях ее ингредиентов. подача эмульсии осуществлялась через штатную систему топливоподдачи после прогрева дизеля на чистом ДТ. Во втором случае эмульсия готовилась непосредственно в ТНВД УТН-5 дизеля с использованием эмульгатора - ТЭП-101. Схема топливной системы для приготовления и подачи эмульсии показана на рис. 3.11 [7, 63]. Требуемое количество воды предварительно растворялось в метаноле, а требуемое количество присадки - в ДТ. Получение требуемого соотношения метанола и ДТ осуществлялось двумя вентилями и контролировалось двумя электронными расходомерами топлива АИР-50. Схема смесителя, установленного в канале подвода топлива ТНВД показана на рис. 3.12 [213]. Система регулирования аналогична изложенной в работе [214]. Открытие вентиля подачи метанола и выключение электродвигателя смесителя осуществлялось после прогрева дизеля на чистом ДТ. Снятие скоростных и нагрузочных характеристик дизеля, индцирование и анализ проб ОГ производились в полном объеме для обоих способов приготовления и подачи МТЭ.

3.3. Экспериментальные установки, приборы и оборудование для исследования применения метанола в тракторных дизелях

3.3.1. Особенности экспериментальной установки, приборов и оборудования для исследования применения метанола на выпуске дизеля 2Ч 10,5/12,0

Экспериментальная установка для исследования работы дизеля 2Ч 10,5/12, создана на базе измерительно-исследовательского комплекса кафедры тракторной и автомобилей Вятской ГСХА. В качестве объекта исследований был выбран двухцилиндровый дизель воздушного охлаждения с полусферической камерой сгорания в поршне производства Владимирского тракторного завода 2Ч 10,5/12,0 трактора Т-25А. подача метанола и воды во впускной трубопровод дизеля осуществлялась через два простейших карбюратора, изготовленных согласно схеме, представленной на рис. 3.6. Общий вид впускного трубопровода дизеля 2Ч 10,5/12,0 с карбюраторами для подачи метанола и воды на выпуске представлен на рис. 3.10. Изменение подачи метанола или воды регулировалось изменением проходного сечения жиклеров с помощью регулировочной иглы. Для измерения расходов метанола и воды при подаче на выпуск дизеля было изготовлено специальное измерительное устройство, включающее в себя стеклянные пипетки с ценой деления 1 мм и управляющие краны, с помощью которых можно было заполнить до определенного объема пипетку, а затем подавать из нее метанол или воду в карбюратор, замеряя время расхода данного объема электронным секундомером. Общий вид на установку для измерения расходов метанола и воды при подаче их на выпуск дизеля 2Ч 10,5/12,0 представлен на рис. 3.11.

3.3.2. Особенности экспериментальной установки, приборов и оборудования для исследования применения метанола с системой двойной топливоподдачи дизеля 2Ч 10,5/12,0

Экспериментальная установка для исследования работы дизеля 2Ч 10,5/12,0 на метаноле при двойной системе топливоподдачи, создана на ба-

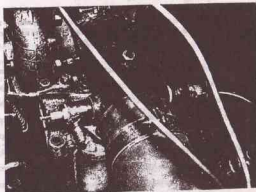


Рис. 3.10. Вид на впускной трубопровод дизеля 24 10,5/12,0 с карбюраторами для подачи метанола и воды на впуске

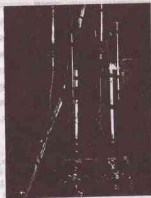


Рис. 3.11. Общий вид установки для замера расходов метанола и воды при подходе к дизелю 24 10,5/12,0

измерительно-исследовательского комплекса кафедры тракторов и автомобилей Вятской ГСХА.

Дополнительно на дизеле, согласно методики исследований, изложенной в разделе 3.1.4 и принципиальной схеме системы двойной топливоподдачи, представленной на рис. 3.8, устанавливались второй ТНВД УТН-5 и две штифтовые форсунки ФШ16-2х25. Общий вид дизеля 24 10,5/12,0 с двумя топливными насосами высокого давления представлен на рис. 3.12. Стенд также оборудовался дополнительной системой питания, включающей в себя топливные баки, фильтры и т.д. Соответственно устанавливались системы управления подачей топлива, а также системы регулировки и измерения расходов обоих топлив. Вид на головки цилиндров дизеля 24 10,5/12,0 с установленными дополнительными форсунками для подачи запального (дизельного) топлива представлен на рис. 3.13.

3.3.3. Особенности экспериментальной установки, приборов и оборудования для исследования применения метано-топливных эмульсий на дизеле 24 10,5/12,0

Экспериментальная установка для исследования работы дизеля 24 10,5/12,0 на МТЭ создана на базе измерительно-исследовательского комплекса, описание которого дано в разделе 3.3.1. В качестве объекта исследования был выбран двухцилиндровый дизель воздушного охлаждения с полусферической камерой сгорания в поршне производства ВТЗ 24 10,5/12,0. Для приготовления стабильных МТЭ в лабораторных условиях был применен гомогенизатор МРВ-324 (Польша) с возможностью изменения частоты вращения вала. Обор компонентов для пробы эмульсии (ДТ, метанол, вода и ЛАВ) происходил в текучую смесью гомогенизатора, установленную на электронных весах и контролировался по массе.



Рис. 3.12. Расположение и крепление доконтурного топливного насоса высокого давления для подачи запального (дизельного) топлива дизеля 2Ч 10,5/12,0

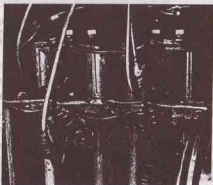


Рис. 3.13. Вид на головки цилиндров дизеля 2Ч 10,5/12,0 с установленными дополнительными форсунками для подачи запального топлива

Приготовленная проба эмульсии переливалась в градуированные мерные емкости 150 мл. Температура пробы эмульсии определялась ртутным термометром. Время приготовления, время начала наблюдений и время стабилизации проб эмульсий измерялось с помощью электронного секундомера ТЭМП-4. Приготовление эмульсии вне топливной системы осуществлялось погружением вала гомогенизатора MWP-324 в емкость с предварительно навешанными долями компонентов МТЭ. Расход МТЭ при этом контролировался расходомером АИР-50. Расходы ДТ и метанола при приготовлении МТЭ в топливной системе дизеля, непосредственно на экспериментальной установке, определялись двумя электронными расходомерами АИР-50 отдельно, массовым способом. Изменение расходов топлив метанола и ДТ производилось дросселями, установленными на топливопроводах. Приготовление МТЭ осуществлялось смесителем, установленным в канале подвода топлива ТНВД УТН-5 и изготовленным по а.с. 1731973 [213], согласно схемы на рис. 3.9. Для вращения вала смесителя в головке ТНВД применялся электродвигатель постоянного тока МЭ22А с напряжением 12 в.

4. СНИЖЕНИЕ ТОКСИЧНОСТИ И УЛУЧШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТРАКТОРНЫХ ДИЗЕЛЕЙ ПУТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТАНОЛА

4.1. Снижение токсичности и улучшение эксплуатационных показателей тракторного дизеля 2Ч 10,5/12,0 путем применения метанола на впуске

4.1.1. Влияние применения метанола на впуске на регулировки, рабочий процесс и тепловыделение тракторного дизеля 2Ч 10,5/12,0

В ходе исследований, согласно методики изложенной в разделе 3.1.2, были определены оптимальные регулировки дизеля и количество метанола необходимое для поддачи во впускной трубопровод дизеля 2Ч 10,5/12,0 [205, 207].

На рис. 4.1 представлена регулировочная характеристика по установочному углу опережения впрыскивания дизеля 2Ч 10,5/12,0 с подачей различного количества метанола во впускной трубопровод при частоте вращения 1800 мин⁻¹. Из графика видно, что для дизельного процесса оптимальным является установочный угол опережения впрыскивания топлива $\Theta_{оп} = 30^\circ$ п.к.в. Изменение установочного угла от оптимального значения приводит к уменьшению эффективной мощности дизеля и повышению удельного расхода топлива. Часовой расход топлива при этом остается без изменения, поскольку цикловая поддача и скоростной режим не изменяются. При подаче 10% метанола к расходу основного (дизельного) топлива характер изменения кривых мощности, удельного расхода топлива и часового расхода топлива остается таким же как и при дизельном процессе.

При подаче 20% метанола во впускной трубопровод кривые эффективной мощности и удельного расхода топлива отличаются от серийных дизельных. Так минимум удельного эффективного расхода топлива соответствует $\Theta_{оп} = 30^\circ$ п.к.в., но максимальные значения эффективной мощности достигаются при $\Theta_{оп} = 34^\circ$ п.к.в. против 30° п.к.в. при серийном дизельном процессе. При подаче на впуске 30% метанола к расходу основного топлива максимум эффектив-

ной мощности соответствует $\Theta_{оп} = 34^\circ$ п.к.в. и составляет 20,46 кВт, а при $\Theta_{оп} = 30^\circ$ п.к.в. только 20,16 кВт.

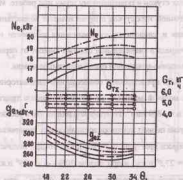


Рис. 4.1. Изменение мощностей и топливно-экономических показателей дизеля 2Ч 10,5/12,0 при различных установочных углах опережения впрыскивания топлива и подаче метанола во впускной трубопровод при $n=1800$ мин⁻¹: о—о— дизельный процесс; □—□— с подачей метанола 10%; ×—×— с подачей метанола 20%; Δ—Δ— с подачей метанола 30%

Удельный эффективный расход топлива при $\Theta_{оп} = 34^\circ$ п.к.в. составляет 273 г/кВт·ч, а при $\Theta_{оп} = 30^\circ$ п.к.в. — $g_{уд} = 276$ г/кВт·ч.

Исходя из полученных результатов работы дизеля при подаче 30% метанола на впуске, оптимальным установочным углом опережения впрыскивания топлива можно было бы считать угол 34° п.к.в. Однако из-за появления сильных стуков в двигателе работа дизеля на таком режиме практически невозможна. Поэтому оптимальным установочным углом опережения впрыскивания топлива при подаче 30% метанола на впуске необходимо считать $\Theta_{оп} = 30^\circ$ п.к.в., обеспечивающий нормальную работу дизеля.

Таким образом проведенные экспериментальные исследования показали, что при работе дизеля 2Ч 10,5/12,0 с подкачей метанола на впуске, необходимо подкачу метанола ограничивать до 30% к расходу основного (дизельного) топлива при оптимальном установочном угле опережения впрыскивания топлива $\Theta_{\text{всп}} = 30^\circ$ п.к.в.

Из результатов обработки индикаторных диаграмм (рис. 4.3) видно, что характеристики тепловыделения и средняя температура цикла в цилиндре изменяются при подкачке метанола на впуск. Максимальная температура цикла T_x как и следовало ожидать, уменьшается. Так на частоте вращения 1800 мин^{-1} и $p_n = 0,585 \text{ МПа}$ (см. рис. 4.3,а) при дизельном процессе $T_{\text{max}} = 2103,8\text{К}$, при подкачке 15% метанола $T_{\text{max}} = 2007,3\text{К}$ и при подкачке 30% $T_{\text{max}} = 1942,0\text{К}$. По характеру протекания кривых выделения теплоты x , активного тепловыделения x_a и динамики использования теплоты $dx/d\varphi$ видно, что выгорание топлива при подкачке метанола на впуск начинается позднее, чем при дизельном процессе. Например, величина активного тепловыделения $x_a = 0,467$, соответствующая максимальному давлению P_n для дизельного процесса достигается при $\varphi = 7,5^\circ$ п.к.в. Это же значение x_a при подкачке 15% метанола на впуск достигается уже при $\varphi = 6^\circ$ п.к.в., а при подкачке 30% - при $\varphi = 8,5^\circ$ п.к.в. Но по кривым динамики активного тепловыделения видно, что процесс выделения тепла с подкачкой метанола на впуск ускоряется.

Если для дизельного процесса $(dx/d\varphi)_{\text{max}} = 0,0660$, то с подкачкой 15% метанола на впуск $(dx/d\varphi)_{\text{max}} = 0,0794$ и возрастает до $0,0923$ при подкачке 30% метанола. Этим объясняется, что процесс сгорания, как для дизельного, так и с подкачкой метанола на впуск процесса заканчивается при одном и том же угле, равном $\varphi = 62^\circ$ п.к.в. Увеличение максимальной скорости тепловыделения при работе дизеля с подкачкой метанола на впуск связано с увеличением периода задержки воспламенения и является причиной возрастания скорости нарастания давления процесса сгорания.

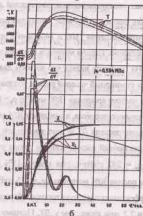
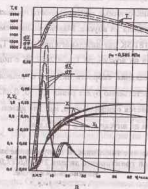


Рис. 4.3. Влияние подкачки метанола во впускной трубопровод на характеристики тепловыделения дизеля 2Ч 10,5/12,0: а - $n = 1800 \text{ мин}^{-1}$; б - $n = 1400 \text{ мин}^{-1}$; — дизельный процесс; - - - с подкачкой метанола 15%; - · - · с подкачкой метанола 30%

При частоте вращения коленчатого вала 1400 мин^{-1} (см. рис. 4.3, 6) прослеживаются аналогичные закономерности протекания процесса сгорания с подачей метанола на впуск. Максимальная температура цикла снижается от $T_{\text{max}} = 2181,5\text{К}$ для дизельного процесса и $T_{\text{max}} = 2080,0\text{К}$ при подаче 15% метанола на впуск, до $T_{\text{max}} = 2012,9\text{К}$ с подачей на впуск 30% метанола. Максимальная скорость активного тепловыделения $(dx/d\varphi)_{\text{max}}$ возрастает и соответственно будет равна 0,0735; 0,0823 и 0,0915. Процесс сгорания заканчивается одновременно, как для дизельного процесса, так и с подачей метанола на впуск, при $\varphi = 44^\circ$ п.к.п.

4.1.2. Снижение токсичности и улучшение эксплуатационных показателей тракторного дизеля 2Ч 10,5/12,0 при применении метанола на впуске

Для исследования эксплуатационных показателей дизеля при подаче метанола на впуск были сняты нагрузочные характеристики тракторного дизеля 2Ч 10,5/12,0 на частоте вращения 1800 и 1400 мин^{-1} , представленные на рис. 4.4,а и 4.4,б, соответственно. Подача метанола составляла 15% и 30% к расходу основного (ДТ). Из графиков видно, что во всем диапазоне изменения нагрузок увеличивается суммарный часовой расход топлива. Расход ДТ при этом уменьшается. Так на частоте вращения 1800 мин^{-1} и $p_e = 0,585 \text{ МПа}$ (рис. 4.4, а) $G_e = 4,5 \text{ кг/ч}$ для дизельного процесса, а с подачей 30% метанола на впуск - $G_e = 3,9 \text{ кг/ч}$, т.е. снижение расхода ДТ за счет замены его метанолом составляет 13%. Удельный эффективный расход топлива также увеличивается: для дизельного процесса $g_e = 242 \text{ г/кВт}\cdot\text{ч}$, при подаче 15% метанола на впуск - $g_e = 264 \text{ г/кВт}\cdot\text{ч}$ и при подаче 30% метанола - $g_e = 275 \text{ г/кВт}\cdot\text{ч}$. Увеличение часового и удельного эффективного расхода топлива объясняется тем, что теплота сгорания метанола в 2,2 раза ниже, чем у ДТ. Поэтому при подаче на впуск 30% метанола расход ДТ уменьшается только на 13%. Из характера протекания кривой эффективного к.п.д., который учитывает теплотворную способ-

ность топлива, видно, что значение его при подаче метанола на впуск не уменьшается, а на больших нагрузках даже несколько выше. Это свидетельствует о лучшей организации рабочего процесса, о более эффективном сгорании ДТ в среде сжатой метанола-воздушной смеси, чем в воздухе. Часовой расход воздуха несколько увеличивается на больших нагрузках, но коэффициент избытка воздуха при этом не изменяется, так как часовой расход топлива также возрастает. Температура ОГ снижается во всем диапазоне изменения нагрузок, по сравнению с дизельным процессом, причем с увеличением нагрузок эта разница увеличивается. Так, на номинальном режиме на частоте вращения 1800 мин^{-1} и $p_e = 0,585 \text{ МПа}$ для дизельного процесса $t_e = 415^\circ\text{C}$, при подаче 15% метанола на впуск - $t_e = 390^\circ\text{C}$ и при подаче 30% метанола - $t_e = 370^\circ\text{C}$. Такое понижение температуры ОГ объясняется снижением осредненной температуры газов за цикл при подаче метанола на впуск.

На рис. 4.4,б представлена нагрузочная характеристика дизеля 2Ч 10,5/12,0 при $n = 1400 \text{ мин}^{-1}$. Как видно из графиков, влияние подачи метанола на эффективные показатели дизеля имеют такой же характер, как и на частоте вращения 1800 мин^{-1} . На рис. 4.5,а представлена скоростная характеристика дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе с подачей метанола на впуск. Из графиков видно, что подача метанола не изменяет эффективных показателей дизеля на всех частотах вращения коленчатого вала, т.е. кривые эффективной мощности, крутящего момента и эффективного к.п.д. при подаче метанола 15% и 30% совпадают с соответствующими кривыми дизельного процесса. Часовой расход топлива увеличивается на всех частотах вращения за счет разности в теплоте сгорания, а расход ДТ уменьшается. На частоте вращения 1800 мин^{-1} это снижение составляет 13%, а на частоте вращения 1400 мин^{-1} - 15%. Удельный эффективный расход топлива по той же причине выше, хотя на меньших частотах эта разница уменьшается. Температура ОГ во всем диапазоне изменения частоты вращения коленчатого вала при подаче метанола на впуск ниже, чем у дизеля, работающего на одном ДТ.

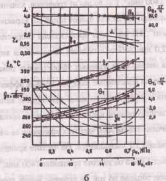
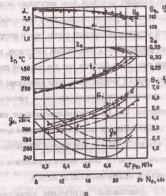


Рис. 4.4. Влияние подачи метанола во впускной трубопровод на мощностные и экономические показатели дизеля 24 10,5/12,0 в зависимости от нагрузки: а - при $n = 1800 \text{ мин}^{-1}$; б - при $n = 1400 \text{ мин}^{-1}$; о - дизельный процесс; □ - с подачи метанола 15%; × - с подачи метанола 30%; Δ - Δ - расход ДТ при работе с подачей 30% метанола.

Исходя из этого можно сделать вывод, что тепловыделение группы в этом случае меньше. Следовательно, с подачей метанола на впуске есть возможность форсировать двигатель по среднему эффективному давлению, не снижая при этом показателей долговечности дизеля. Для определения влияния подачи метанола на впуске тракторного дизеля 24 10,5/12,0 на токсичность и дымность ОГ, одновременно со снятием нагрузочных и скоростных характеристик брались пробы ОГ для проведения анализа и определялись дымность.

На рис. 4.5,б представлено содержание токсичных компонентов в ОГ дизеля 24 10,5/12,0 при работе с подачей метанола на впуске в зависимости от изменения частоты вращения коленчатого вала. Как видно из графиков, с увеличением частоты вращения количество токсичных компонентов в ОГ дизеля возрастает, кроме оксидов азота. Содержание NO_x уменьшается с 5,15 мг/л при 1200 мин^{-1} до 2,4 мг/л при частоте 2000 мин^{-1} при дизельном процессе. Как видно из графиков подачи метанола во впускной трубопровод не ухудшает показатели токсичности дизеля на всех частотах вращения коленчатого вала. Содержание оксидов азота снижается незначительно, а на частоте 1200 мин^{-1} концентрация их в ОГ дизеля одинакова при дизельном и с подачей метанола процессах. Содержание суммарных углеводородов во всем диапазоне изменения частоты вращения с подачей метанола снижается. На частоте 1200 мин^{-1} это снижение составляет 36% при подаче 30% метанола (для дизельного процесса количество в ОГ C_xH_y равно 0,055 мг/л, а с подачей 30% метанола - 0,035 мг/л), при $n = 2000 \text{ мин}^{-1}$ снижение составляет 11% при подаче 30% метанола. В среднем, с увеличением частоты вращения, возрастание содержания суммарных углеводородов составит 10% при подаче на впуске 15% метанола и 20% при подаче 30%. Несколько снижается концентрация диоксида углерода, но возрастает количество оксида углерода. На малой частоте вращения (1200 мин^{-1}) количество CO при подаче 30% метанола больше в 1,7 раза, чем при дизельном процессе, а на частоте 2000 мин^{-1} - только на 23%.

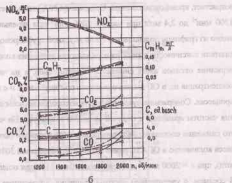
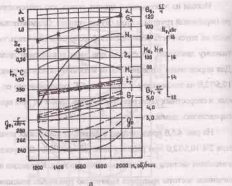


Рис. 4.5. Влияние подачи метанола по впускной трубопровод в зависимости от частоты вращения дизеля 24 10,5/12,0: а - на мощностные и экономические показатели; б - на содержание токсичных компонентов в ОГ; о - о - дизельный процесс, р - - - - с подачей метанола 15%, х - - - - с подачей метанола 30%; Δ - - - Δ - расход ДТ при работе с подачей 30% метанола

Таким образом содержание оксидов углерода в ОГ дизеля при увеличении частоты вращения приближается к значению для дизельного процесса при подаче 30% метанола на впуск. При подаче же 15% метанола количество CO в ОГ остается на том же уровне, что и при дизельном процессе.

Содержание сажи на всех частотах вращения с подачей метанола на впуск снижается. Причем, если на частоте вращения 1800 мин⁻¹ это снижение составляет 35...40%, то на частоте вращения 1200 мин⁻¹ оно составит 40% при подаче 15% метанола на впуск и достигает снижения 70% при подаче 30% метанола. Таким образом, подача метанола во впускной трубопровод оказывает положительное влияние на снижение токсичности ОГ и сажеосодержание во всем диапазоне изменения частоты вращения коленчатого вала.

На рис. 4.6 представлены зависимости содержания основных токсичных компонентов (NO_x, CO, CH_n, CO₂) и сажи в функции нагрузки при частотах вращения 1800 и 1400 мин⁻¹. Как видно из графиков подача метанола на впуск дизеля в объеме 15 и 30% к расходу основного топлива не повышает содержание токсичных компонентов в ОГ, а содержание сажи несколько снижается. Так, при увеличении нагрузки дизеля по чисто дизельному процессу и частоте вращения 1800 мин⁻¹ (рис. 4.6,а), содержание оксидов азота в ОГ увеличивается с 1,95 мг/л до 3,25 мг/л, при подаче 15% метанола и тех же значениях нагрузки - с 2,25 мг/л до 3,20 мг/л, при подаче 30% метанола - с 2,40 мг/л до 3,25 мг/л. При этом необходимо отметить, что максимум содержания азота в ОГ дизеля при подаче метанола на впуск сдвигается в сторону больших нагрузок. Если при дизельном процессе максимум оксидов азота наблюдается при $p_c = 0,59$ МПа, то при подаче 15% метанола при $p_c = 0,64$ МПа, а при подаче 30% уже при $p_c = 0,66$ МПа. Согласно термической природе образования оксидов азота следовало бы ожидать уменьшения содержания NO_x в ОГ, поскольку снижение температуры ОГ и средней температуры цикла свидетельствует о протекании рабочего процесса при меньшей температуре, чем у серийного дизеля.

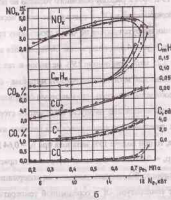
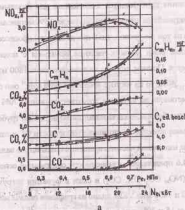


Рис. 4.6. Влияние подачи метанола на впуске на содержание токсичных компонентов в ОГ дизеля 2Ч 10,5/12,0 в зависимости от нагрузки: а - при $n = 1800 \text{ мин}^{-1}$; б - при $n = 1400 \text{ мин}^{-1}$; $\circ - \circ$ - дизельный процесс; $\square - \square$ - с подкачей метанола 15%; $\times - \times$ - с подкачей метанола 30%

Однако, концентрация оксидов азота, образующихся при сгорании, находится в прямой зависимости от скорости тепловыделения и скорости нарастания давления. Результаты индцирования показали увеличение скорости тепловыделения и нарастания давления в процессе сгорания при подаче метанола на впуске. Таким образом, несмотря на меньшую температуру газов в цилиндре, количество оксидов азота в ОГ дизеля 2Ч 10,5/12,0 с подачей метанола не уменьшается, оставаясь практически на прежнем уровне. Содержание суммарных углеводородов при подаче метанола на впуске также не увеличивается. При $p_e = 0,59 \text{ МПа}$ в ОГ содержится 0,106 мг/л углеводородов при дизельном процессе, а при подаче метанола - 0,085 мг/л. При нагрузке 0,65 МПа содержание углеводородов в ОГ выравнивается и составляет в обоих случаях 0,150 мг/л. Содержание диоксида углерода в ОГ изменяется при увеличении нагрузки с 3,4% до 6,9%, при подаче на впуске 15% метанола - с 3,4% до 7%, при подаче 30% метанола - с 3,5 до 7%. Содержание оксида углерода достигает максимального значения по дизельному процессу при $p_e = 0,69 \text{ МПа}$, при подаче на впуске 15% метанола уже при $p_e = 0,71 \text{ МПа}$, при подаче 30% - при $p_e = 0,725 \text{ МПа}$. Содержание сажи в ОГ дизеля при работе с подкачей метанола снижается по сравнению с дизельным процессом во всем диапазоне нагрузок. Так, на номинальном режиме при $p_e = 0,59 \text{ МПа}$ содержание сажи при дизельном процессе составляет 4,6 ед. по шкале Боша, при подаче на впуске 15% метанола на впуске - 3,8 ед. по шкале Боша, а при подаче на впуске 30% метанола - только 2,8 ед. по шкале Боша. Таким образом, снижение содержания сажи в ОГ дизеля при работе на метаноле составляет 20 и 40% по сравнению с дизельным процессом, при подаче на впуске 15 и 30% метанола, соответственно. При этом необходимо отметить, что максимальное значение содержания сажи в ОГ при работе на метаноле сдвигается в сторону больших нагрузок. При дизельном процессе оно соответствует $p_e = 0,69 \text{ МПа}$, при подаче на впуске 15% метанола - $p_e = 0,726 \text{ МПа}$, при подаче 30% метанола - при $p_e = 0,76 \text{ МПа}$. На частоте вращения 1400 мин^{-1} подача метанола во впускной трубопровод дизеля

оказывает аналогичное влияние на содержание токсичных компонентов в ОГ (рис. 4.6,б). Так, содержание оксидов азота на номинальном режиме при $p_c = 0,6$ МПа, снижается с подачи метанола в пределах 9...10%. На малых нагрузках содержание NO_x выравнивается и несколько превышает значение дизельного процесса. Максимум содержания оксидов азота также сдвигается в сторону больших нагрузок: при дизельном процессе этот максимум наблюдается при $p_c = 0,6$ МПа, а при подаче метанола на впуске при $p_c = 0,66$ МПа. Содержание суммарных углеводородов при подаче метанола на впуске также не увеличивается, а на больших нагрузках снижается. Например, при $p_c = 0,71$ МПа содержание CH_x составляет 0,215 мг/л по дизельному процессу, 0,175 мг/л при подаче 15% метанола на впуске и 0,140 мг/л при подаче 30% метанола на впуске, снижение в процентном отношении составляет, соответственно, 18 и 35%. Содержание диоксида углерода и оксида углерода с подачей метанола на впуске не изменяется и остается в пределах значений, свойственных дизелю. Содержание сажи при подаче метанола на впуске уменьшается во всем диапазоне изменения нагрузок. На номинальном режиме при $p_c = 0,6$ МПа это снижение при подаче 30% метанола составляет 0,6 ед. по шкале Боша или в процентном отношении - 30%. Максимальное значение содержания сажи также сдвигается в сторону больших нагрузок: максимум для дизельного процесса (3,8 ед. по шкале Боша) достигается при $p_c = 0,74$ МПа, с подачей 15% метанола на впуске - при $p_c = 0,74$ МПа, с подачей 30% метанола - при $p_c = 0,77$ МПа.

4.2. Снижение токсичности и улучшение эксплуатационных показателей тракторного дизеля 2Ч 10,5/12,0 при применении метанола с системой двойной топливopодачи

4.2.1. Влияние применения метанола с системой двойной топливopодачи на регулировку, рабочий процесс и тепловыделение тракторного дизеля 2Ч 10,5/12,0

Как показали исследования, наилучшие результаты по расходу топлива получаются при более ранней подаче заплывного топлива, чем метанола. На рис. 4.7 представлены графики изменения экономических показателей дизеля 2Ч 10,5/12,0 при различных установочных углах опережения впрыскивания топлива для частоты вращения 1800 мин^{-1} на номинальной нагрузке. Характеристики снимаются при различных $\Theta_{\text{вп}}$ для ДТ и метанола. Из графиков видно, что оптимальными по суммарному удельному расходу топлива являются следующие значения установочных углов опережения впрыскивания топлива: $\Theta_{\text{дт}} = 38^\circ$ и $\Theta_{\text{м}} = 32...34^\circ$, т.е. заплывное топливо подается на $4...6^\circ$ раньше, чем метанол. При более позднем впрыскивании метанола (при уменьшении $\Theta_{\text{м}}$) или при более раннем (одновременном с впрыскиванием ДТ) показатели экономичности ухудшаются. Причиной является нарушение процесса сгорания. На рис. 4.8 представлены совмещенные индикаторные диаграммы, снятые при $\Theta_{\text{дт}} = 38^\circ$ и различных $\Theta_{\text{м}}$. Как видно из графика, при позднем впрыскивании метанола его воспламенение происходит значительно позднее, при таком положении поршня, когда существенно увеличился объем КС. В результате резко падает давление p_c и весь процесс сгорания сдвигается на линию расширения. Если при оптимальных значениях $\Theta_{\text{дт}} = 38^\circ$ и $\Theta_{\text{м}} = 34^\circ$, $p_c = 6,580$ МПа и достигается при $\phi = 10,5^\circ$, то при $\Theta_{\text{м}} = 30^\circ$ и $\Theta_{\text{м}} = 26^\circ$ давление p_c соответственно, снижается до 5,613 и 5,175 МПа и достигает максимума при ϕ , равном 16 и 20° .

Практически при $\Theta_{\text{м}} = 26^\circ$ наблюдается два пика p_c : первый пик соответствует сгоранию заплывного ДТ при $\phi = 6^\circ$, а второй сгоранию метанола при $\phi = 20^\circ$, причем в данном случае виден провал на диаграмме, который объясняется тем, что давление от сгорания заплывного топлива уже начинает падать, т.е. идет процесс догорания, и в этот момент впрыскивается метанол и, воспламеняясь, повышает давление.

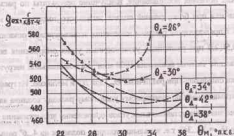


Рис. 4.7. Изменение экономических показателей дизеля 24 10,5/12,0 при различных установочных углах опережения впрыскивания топлива и начале метанола с системой двойной подачи топлива при $n = 1800 \text{ мин}^{-1}$: $q_{\text{мет}} = 11,1 \text{ мг/такт}$; $q_{\text{диз}} = 78 \text{ мг/такт}$

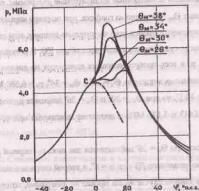


Рис. 4.8. Влияние на индикаторную диаграмму изменения установочного угла опережения впрыскивания метанола дизеля 24 10,5/12,0 при $n = 1800 \text{ мин}^{-1}$: $\theta_M = 38^\circ$; $q_{\text{мет}} = 11,1 \text{ мг/такт}$; $q_{\text{диз}} = 78 \text{ мг/такт}$

При раннем впрыскивании метанола одновременно с запальным ДТ возрастает давление p_2 и увеличивается жесткость процесса сгорания. Так, $p_2 = 7,313 \text{ МПа}$ и достигает своего максимума при $\varphi = 6,5^\circ$. При этом $(d\varphi/d\varphi)_{\text{мин}} = 0,649 \text{ МПа/градус}$. Причина, очевидно состоит в том, что если впрыскивание ДТ осуществляется с некоторым опережением, то последующее впрыскивание метанола происходит в горящий факел, который способствует его быстрому воспламенению. Раннее впрыскивание метанола сопровождается предвирительным испарением, накоплением в объеме КС паровой фазы, снижением температуры T_0 , в результате чего воспламенение запального ДТ, да и всего заряда в целом, происходит с большой задержкой, а сгорание идет с большой скоростью, значительно повышая $d\varphi/d\varphi$. Изменение начала поджига запального ДТ также ведет к нарушению процесса сгорания. На рис. 4.9,а представлены индикаторные диаграммы дизеля, снятые при $\theta_A = 34^\circ$ и разных θ_M . Из графика видно, что позднее впрыскивание ДТ сдвигает воспламенение топливовоздушного заряда далеко за ВМТ, а процесс сгорания на линию расширения. При θ_M равном 38, 34, 30 и 26° p_0 соответственно, равно 6,679, 6,019, 5,427 и 4,939 МПа и достигает максимума при φ , равном 15, 15,5, 16,5 и 18° . Процесс сгорания при этом развивается очень вяло, резко падает мощность дизеля, ухудшается экономичность. При увеличении разрыва между впрыскиванием двух топлив на диаграмме наблюдается два пика давления p_2 - для запального ДТ и для метанола. На рис. 4.9,б представлены индикаторные диаграммы дизеля при $\theta_A = 42^\circ$ и разных θ_M . Здесь также хорошо прослеживается тенденция сдвигания процесса сгорания на линию расширения при увеличении запаздывания впрыскивания метанола по причинам, указанным выше. При впрыскивании метанола с небольшим запаздыванием ($\theta_A = 42^\circ$, $\theta_M = 38^\circ$) процесс сгорания близок к оптимальному. И на рисунке (см. рис. 4.7) также видно, что при этих значениях θ_A и θ_M суммарный удельный эффективный расход топлива имеет минимум.

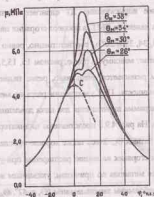
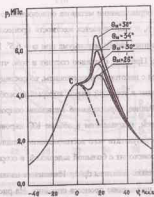


Рис. 4.9. Влияние на индикаторную диаграмму изменения установочного угла опережения впрыскивания метанола дизеля 2Ч 10,5/12,0 при $n=1800$ мин⁻¹: а - при $\Theta_0 = 34^\circ$; б - при $\Theta_0 = 42^\circ$; $q_{\text{мет}} = 11,1$ мг/такт; $q_{\text{дт}} = 78$ мг/такт

Однако этот минимум составляет 490 г/кВт·ч, в то время как с этой же разницей во впрыскивании, но при $\Theta_0 = 38^\circ$ и $\Theta_{\text{в}} = 34^\circ$ $q_{\text{дт,опт}} = 470$ г/кВт, т.е. на 4% ниже. Причина заключается в том, что увеличение угла опережения впрыскивания ДТ и метанола способствует росту p_c , которое и оказывает влияние на показатели экономичности. Кроме того, при увеличении цикловой подачи метанола на больших нагрузках появляются сильные стуки, свидетельствующие о высокой скорости нарастания давления.

На рис. 4.10 представлено изменение эксплуатационных показателей дизеля 2Ч 10,5/12,0 при различных установочных углах опережения впрыскивания топлива при нагрузке, составляющей 60% от номинальной. Здесь минимальное значение $q_{\text{дт,опт}}$ достигается при $\Theta_0 = 42^\circ$ и $\Theta_{\text{в}} = 36^\circ$, т.е. тенденция опережения подачи ДТ сохраняется. Однако, по указанным выше причинам возникновения стуков и сильного шума на больших нагрузках, режим работы дизеля при данных установочных углах опережения впрыскивания топлива рекомендуется быть не может. Поэтому величины углов $\Theta_0 = 38^\circ$ и $\Theta_{\text{в}} = 34^\circ$ приняты за оптимальные и все дальнейшие исследования проводились при этих значениях углов Θ . Поскольку в работе преследовалась цель максимально возможного сокращения расхода ДТ и снижения токсичности ОГ дизеля, то возникла необходимость определить минимальную цикловую подачу запального ДТ, гарантирующую воспламенение метанола в цилиндре на всех нагрузочных режимах. На рис. 4.11 представлено влияние на индикаторные диаграммы дизеля 2Ч 10,5/12,0 изменения установочного угла опережения впрыскивания метанола с различной дозой запального ДТ. Как видно из графиков, нарушения в процессе сгорания, выраженные в пропусках воспламенения, возникают при уменьшении цикловой подачи запального ДТ $q_{\text{дт}}$ до 8,14 мг/такт (рис. 4.11,б). Диаграмма изменения давления сгорания не имеет четкости в области максимума - значение p_c невозможно определить, т.е., если смотреть по крайним точкам, то p_c изменяется от 4,52 до 6,56 МПа, т.е. режим работы неустойчивый, нормальные вспышки чередуются с большим количе-

ством пропусков воспламенения. Мощность, развиваемая двигателем уменьшается на 15...20% от номинальной, хотя цикловая подача метанола при этом остается постоянной. По мере уменьшения $q_{ци}$ до 7,19 мг/цикл пропуски воспламенения становятся еще более значительными, двигатель работает неровно, с перебоями и на индикаторной диаграмме появляются следы линии сжатия - расширения, снимаемой без подачи топлива при прокрутке двигателя (рис. 4.12,а).

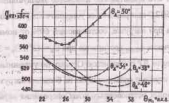


Рис. 4.10. Изменение экономичности показателей двигателя 2Ч 10,5/12,0 при различных углах опережения зажигания топлива и подачи метанола с системой двойной подпитки и нагрузке, составляющей 60% от номинальной: $n = 1800 \text{ мин}^{-1}$; $q_{ци} = 11,1 \text{ мг/цикл}$; $q_{мет} = 45 \text{ мг/цикл}$

При уменьшении цикловой подачи ДТ до 5,33 мг/цикл воспламенение метанола прекращается (рис. 4.12,б). Наблюдаются лишь отдельные вспышки с большим запылением на линии расширения. На рисунке (см. рис. 4.11,а) представлена индикаторная диаграмма двигателя 2Ч 10,5/12,0 при $q_{ци} = 9,3 \text{ мг/цикл}$. При такой цикловой подаче задельного ДТ двигатель устойчиво работает на всех нагрузочных и скоростных режимах. Нагрузка регулируется от 0 до максимума p_c путем изменения цикловой подачи метанола. Часовой расход ДТ при данной цикловой подаче составляет 1 кг/ч. С целью исследования особенностей процесса сгорания двигателя 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с системой двойной топливоподачи проводилось индирование на номинальном скоростном режиме при частоте вращения 1800 мин^{-1} и режиме максимального крутящего момента при частоте вращения 1400 мин^{-1} .

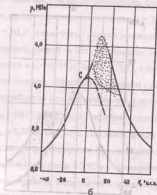
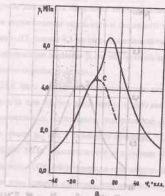


Рис. 4.11. Влияние на индикаторные диаграммы изменения установившегося угла опережения зажигания метанола при системе двойной топливоподачи двигателя 2Ч 10,5/12,0 при $n = 1800 \text{ мин}^{-1}$: а - при $q_{ци} = 9,3 \text{ мг/цикл}$; б - при $q_{ци} = 8,14 \text{ мг/цикл}$

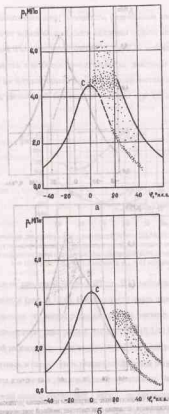


Рис. 4.12. Влияние на индикаторные диаграммы изменения установочного угла опережения впрыскивания метанола при системе двойной топливной подачи дизеля 24 10,5/12,0 при $n = 1800$ мин⁻¹: а - при $q_{in} = 7,19$ мл/цикл; б - при $q_{in} = 5,33$ мл/цикл

Индикаторные диаграммы снимались на оптимальных установочных углах опережения впрыскивания запального и основного топлива, при цикловой подаче запального ДТ равной 9,3 мл/цикл и цикловой подаче метанола, обеспечивающей поддержание значения p_c на том уровне, при котором проводилось индизирование серийного дизеля.

На рис. 4.13,а даны в сравнении индикаторные диаграммы серийного и метанольного дизеля при частоте вращения $n = 1800$ мин⁻¹ и $p_c = 0,585$ МПа. Результаты индизирования показывают существенное снижение максимального давления сгорания p_z . Так, у серийного дизеля $p_{z1} = 7,250$ МПа, а у метанольного $p_{z2} = 6,580$ МПа. Соответственно и значения $(dp/d\phi)_{max}$ составляют для серийного дизеля 0,496 МПа/градус, а для метанольного дизеля - 0,382 МПа/градус. При этом следует отметить, что процесс сгорания метанольного дизеля несколько сдвигается на левую расширение. Если для серийного дизеля максимальное давление цикла достигается при $\phi = 7,5^\circ$, то для метанольного дизеля при $\phi = 10,5^\circ$. Аналогичные выводы можно сделать и из анализа индикаторной диаграммы, снятой на частоте вращения 1400 мин⁻¹ (рис. 4.13,б). Для серийного дизеля и $p_c = 0,594$ МПа - $p_{z1} = 7,677$, а для метанольного дизеля и тех же значениях среднего эффективного давления - $p_{z2} = 7,229$ МПа. Значения $(dp/d\phi)_{max}$ при работе на метаноле снижаются и на этом скоростном режиме. Так $(dp/d\phi)_{max} = 0,612$ МПа/градус у серийного дизеля, а при работе на метаноле $(dp/d\phi)_{max} = 0,399$ МПа/градус. Процесс сгорания метанольного дизеля также сдвигается на левую расширения. Максимальное давление цикла у серийного дизеля достигается при $\phi = 7,0^\circ$, а у метанольного дизеля - при $\phi = 9,0^\circ$. Из результатов обработки индикаторных диаграмм (рис. 4.14) видно, что характеристики тепловыделения и осредненная температура газов в цилиндре изменяются при работе дизеля на метаноле. Максимальное значение осредненной температуры цикла сдвигается влево по углу поворота коленчатого вала на обоих скоростных режимах.

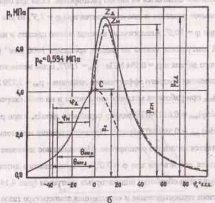
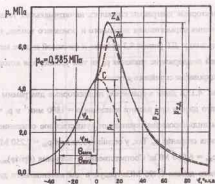


Рис. 4.13. Влияние поджига метанола при системе двойной топливозаправки на индикаторные диаграммы дизеля 24 10,5/12,0: а - при $n = 1800 \text{ мин}^{-1}$; б - при $n = 1400 \text{ мин}^{-1}$; — дизельный процесс; --- метанол с запальным ДТ

При частоте вращения 1800 мин^{-1} и $p_b = 0,585 \text{ МПа}$ (рис. 4.14,а) максимальная средняя температура цикла для серийного дизеля составляет 2104К и наблюдается при $\varphi = 20^\circ$, а для метанольного дизеля $T_{\text{max}} = 2075\text{К}$ при $\varphi = 32^\circ$. Для метанольного дизеля характерно уменьшение первого пика на графике динамики тепловыделения и сдвиг его направо от ВМТ. Если для серийного дизеля максимум скорости тепловыделения $(d\dot{q}/d\varphi)_{\text{max}} = 0,0660$ наблюдается при $\varphi = 2^\circ$, то для метанольного дизеля $(d\dot{q}/d\varphi)_{\text{max}} = 0,0499$ при $\varphi = 7,5^\circ$. Из графика выделения теплоты q , активного тепловыделения q_i и динамики использования теплоты видно, что выгорание топлива при работе дизеля на метаноле в первой фазе сгорания имеет плавный характер, более равномерный, без резких повышений скорости тепловыделения. Величина активного тепловыделения $q_i = 0,48$, соответствующая максимальному давлению сгорания p_b для серийного дизеля достигается при $\varphi = 7,5^\circ$. Для метанольного дизеля при этом значении φ , величина q_i составляет только $0,31$ от общего тепловыделения, но при $\varphi = 9^\circ$, соответствующем p_b , активное тепловыделение достигает почти такого же значения - $0,45$. Во второй фазе при угле поворота коленчатого вала $\varphi = 20^\circ$, соответствующем максимальной средней температуре цикла, $q_i = 0,72$ для серийного дизеля, а для метанольного дизеля при $\varphi = 32^\circ$, соответствующем T_{max} $q_i = 0,79$, т.е. тепловыделение идет в данном случае более активно. Это также подтверждается и тем, что скорость тепловыделения при работе на метаноле выше, чем у серийного дизеля, начиная с угла поворота коленчатого вала $\varphi = 5^\circ$. В результате сгорание заканчивается почти одновременно с разницей в 4 градуса ($\varphi_{\text{сз}} = 62^\circ$, а $\varphi_{\text{сз}} = 66^\circ$). Снижение максимальной скорости тепловыделения и более плавный характер протекания процесса при работе дизеля на метаноле связаны с тем, что здесь отсутствует самовоспламенение (исключая ДТ, доля которого незначительна и не оказывает влияния на рабочий процесс), т.е. в данном случае дизель можно отнести к

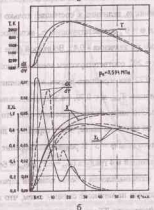
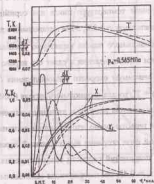


Рис. 4.14. Влияние поджига метанола при системе двойной топливоснабчки на характеристики тепловыделения дизеля 24 10,5/12,0: а - при $n = 1800 \text{ мин}^{-1}$; б - при $n = 1400 \text{ мин}^{-1}$; — двойной процесс; ---- метанол с запальным ДТ

двигателям с принудительным воспламенением у которых скорость тепловыделения в начальной фазе сгорания растет медленно (по отношению к дизелю). Так как метанол вырывается с запаздыванием, по отношению к запальному ДТ, то он попадает в средy, где уже идут предпламенные процессы у запального топлива, которые активизируют процесс воспламенения впрыскиваемого метанола, являясь инноваторами горения. Поэтому он сгорает постепенно, по мере поступления в цилиндр. Снижение скорости тепловыделения является также причиной уменьшения скорости нарастания давления в процессе сгорания. На частоте вращения 1400 мин^{-1} (рис. 4.14,б) прослеживаются аналогичные особенности протекания процесса сгорания при работе дизеля на метаноле. В первой фазе сгорания, до p_{cr} , выгорание топлива начинается медленно, скорость тепловыделения ниже, чем у серийного дизеля. Так, $\chi_1 = 0,55$, соответствующее максимальному давлению сгорания при работе на ДТ, достигается при $\phi = 7,0^\circ$, а при работе на метаноле максимальному давлению соответствует это же значение χ_1 , равное 0,55, но уже при $\phi = 9,0^\circ$. Соответственно и скорость тепловыделения в этой фазе для серийного дизеля составляет 0,0735, а для метанольного дизеля 0,0656. Во второй фазе сгорания процесс активизируется, скорость тепловыделения у метанольного дизеля начиная с $\phi = 3^\circ$ выше, осредненная температура цикла достигает максимального значения уже при $\phi = 20^\circ$, только на 2 градуса позднее, чем у серийного дизеля, и активное тепловыделение $\chi_2 = 0,8$ также выходит на уровень, свойственный дизелю при работе на ДТ. Сгорание топлива заканчивается для серийного дизеля при $\phi = 44^\circ$, а для метанольного дизеля при $\phi = 48^\circ$, т.е. практически одновременно.

4.2.2. Снижение токсичности и улучшение эксплуатационных показателей тракторного дизеля 24 10,5/12,0 при применении метанола с системой двойной топливоснабчки

Определение эффективных показателей дизеля при применении в качестве основного топлива метанола, проводилось путем снятия нагрузочных характеристик на номинальном скоростном режиме 1800 мин^{-1} и режиме максимального крутящего момента с частотой вращения коленчатого вала 1400 мин^{-1} , а также путем снятия скоростных характеристик на номинальной нагрузке.

На рис. 4.15,а представлены нагрузочные характеристики дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на ДТ и на метаноле с воспламенением от запальной порции ДТ при частоте вращения коленчатого вала 1800 мин^{-1} . Из графиков видно, что расход ДТ, используемого в качестве запального, на всех нагрузочных режимах остается постоянным и не превышает 1 кг/ч , а все регулирование нагрузки осуществляется изменением подачи метанола. Таким образом, суммарный часовой расход топлива изменяется от 5,7 до $11,7 \text{ кг/ч}$ при росте нагрузки от 0 до максимума. В связи с этим, на малых нагрузках, относительное количество запального топлива будет больше из-за значительного уменьшения подачи метанола. Так, например, при $p_c = 0,320 \text{ МПа}$ суммарный часовой расход топлива составляет $5,7 \text{ кг/ч}$, а расход ДТ - 1 кг/ч или $17,5\%$ от G_{Σ} . На больших нагрузках, например, при $p_c = 0,655 \text{ МПа}$, G_{Σ} возрастает до $10,4 \text{ кг/ч}$. Часовой расход запального ДТ, оставаясь на уровне 1 кг/ч , составит лишь $9,6\%$. По отношению к серийному дизелю, метанольный дизель экономит на режимах малых нагрузок при p_c до $0,3 \text{ МПа}$ около 60% ДТ, на номинальной нагрузке при $p_c = 0,585 \text{ МПа}$ до 77% и на больших нагрузках при $p_c = 0,690 \text{ МПа}$ до 80% ДТ за счет замещения его метанолом. Суммарный удельный эффективный расход топлива (по массе) у метанольного дизеля увеличивается по сравнению с серийным дизелем ($G_{\Sigma \text{ мет}} = 470 \text{ г/кВт}\cdot\text{ч}$ против $G_{\Sigma \text{ ДТ}} = 240 \text{ г/кВт}\cdot\text{ч}$). Это объясняется низкой теплотой сгорания метанола по отношению к ДТ. При этом эффективный к.п.д., который учитывает теплоту сгорания топлив, у метанольного дизеля на номинальном режиме не ниже, чем у серийного дизеля. На малых и больших нагрузках значения η_e метанольного дизеля имеют несколько меньшие значения.

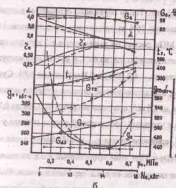
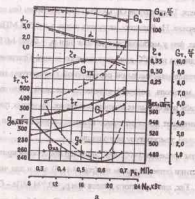


Рис. 4.15. Влияние подачи метанола при системе двойной топливности на мощностные и экономические показатели дизеля 2Ч 10,5/12,0 и зависимость от нагрузки: а - при $n = 1800 \text{ мин}^{-1}$; б - при $n = 1400 \text{ мин}^{-1}$; о — дизельный процесс; о — метанол с запальной ДТ; Δ — Δ - часовой расход запального ДТ

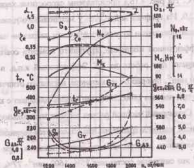
Часовой расход воздуха не изменяется при работе дизеля на метаноле. Незначительно уменьшаются значения коэффициента избытка воздуха α у метанольного дизеля. Температура ОГ t_c остается практически без изменения для метанольного дизеля. На больших нагрузках выше $p_c = 0,585$ МПа у серийного дизеля t_c больше, чем у метанольного дизеля: при $p_c = 0,690$ МПа - $t_c = 525^\circ\text{C}$ для серийного дизеля и 475°C для метанольного дизеля. Причиной, очевидно, является понижение максимальной средней температуры цикла вследствие испарения метанола, который отличается высокой теплотой испарения, проявляющей себя при больших цикловых подачах. На малых цикловых подачах метанол оказывает незначительное влияние на уменьшение температуры T_c и, следовательно, температуру всего цикла.

Для частоты вращения 1400 мин^{-1} характер протекания кривых нагрузочной характеристики остается таковым же (рис. 4.15,б), как и для частоты вращения 1800 мин^{-1} . Так, для серийного дизеля при $p_c = 0,594$ МПа - $G_c = 3,4 \text{ кг/ч}$, а для метанольного дизеля при такой же нагрузке $G_{c2} = 6,5 \text{ кг/ч}$ при расходе запального ДГ - $G_{c3} = 0,8 \text{ кг/ч}$. Таким образом по отношению к серийному дизелю экономия ДГ составляет 76% за счет замены его метанолом. На малых нагрузках, при $p_c = 0,3$ МПа, расход ДГ уменьшается с 2 кг/ч для серийного дизеля до $0,8 \text{ кг/ч}$ для метанольного, т.е. на 60%, и на больших нагрузках при $p_c = 0,710$ МПа, соответственно, с $4,2 \text{ кг/ч}$ до $0,8 \text{ кг/ч}$ или на 80%. Суммарный часовой расход топлива, вследствие низкой теплоты сгорания метанола, возрастает и изменяется от 4 до $8,6 \text{ кг/ч}$ при росте нагрузки от 0,260 до $0,710$ МПа.

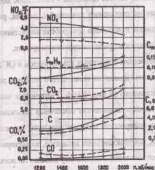
Соответственно и удельный эффективный расход топлива у метанольного дизеля выше: для серийного дизеля $e_{ср.д.} = 238 \text{ г/кВт}\cdot\text{ч}$, а для метанольного дизеля $e_{ср.д.} = 458 \text{ г/кВт}\cdot\text{ч}$. При этом эффективный к.п.д. на номинальном нагрузочном режиме не отличается от к.п.д. серийного дизеля. Часовой расход воздуха у метанольного дизеля остается практически без изменения. Коэффициент избытка воздуха α также не отличается от значений для серийного дизеля, незначительно уменьшаясь только на малых нагрузках. Температура ОГ на

этом скоростном режиме у метанольного дизеля ниже, чем у серийного на средних и высоких нагрузках. На максимальных нагрузках это снижение достигает 50°C . На рис. 4.16,а представлены скоростные характеристики дизеля 2Ч 10,5/12,0. Из графика видно, что у метанольного дизеля не изменяются эффективные показатели во всем исследуемом диапазоне частот вращения, т.е. кривые эффективной мощности, крутящего момента совпадают с аналогичными кривыми при работе на ДГ. Эффективный к.п.д. в диапазоне частот $1200...1700 \text{ мин}^{-1}$, при работе на метаноле, несколько отличается от серийного дизеля, но при частоте $1800...2000 \text{ мин}^{-1}$ вновь совпадает с кривой η_e серийного дизеля. Суммарный часовой расход топлива метанольного дизеля увеличивается на всех частотах вращения, что объясняется разницей в теплоте сгорания ДГ и метанола, а расход ДГ при этом снижается. При частоте вращения 1200 мин^{-1} это снижение составляет 85%, 1600 мин^{-1} - 77%, 2000 мин^{-1} - 72%. На малой частоте вращения $1200...1600 \text{ мин}^{-1}$ t_c меньше у метанольного дизеля на $10...30^\circ\text{C}$. На большой частоте вращения - $1800...2000 \text{ мин}^{-1}$, температура ОГ метанольного дизеля не превышает значений t_c дизеля, работающего на ДГ. Остальные эффективные показатели при работе на метаноле с воспламенением запальным ДГ остаются в пределах серийного дизеля.

Изменение содержания токсичных компонентов в ОГ дизеля 2Ч 10,5/12,0 в зависимости от частоты вращения коленчатого вала при работе на различных видах топлива представлено на рис. 4.16,б. Увеличение частоты вращения сопровождается увеличением количества токсичных компонентов в ОГ дизеля, кроме оксидов азота, содержание которых при этом снижается. Как видно из графиков для дизеля, работающего на метаноле, характерно снижение содержания NO_x в ОГ по отношению к серийному дизелю на всех исследуемых скоростных режимах. Так, если у серийного дизеля содержание оксидов азота в ОГ уменьшается с $4,8 \text{ мг/л}$ при частоте вращения 1200 мин^{-1} до $2,4 \text{ мг/л}$ при 2000 мин^{-1} , то у метанольного дизеля содержание NO_x соответственно снижается с $1,6 \text{ мг/л}$ до $0,6 \text{ мг/л}$.



а



б

Рис. 4.16. Влияние подачи метанола при системе двойной топливосистемы в зависимости от частоты вращения дизеля 2Ч 10,5/12,0: а - на мощностные и экономические показатели; б - на содержание токсичных элементов в ОГ; о—о - дизельный процесс; □ - - - метанол с малым ДП; Δ - - - Δ - часовой расход чистого ДП

В процентном отношении в при $n = 1200 \text{ мин}^{-1}$ - 66,6%, а при $n = 2000 \text{ мин}^{-1}$ - 75%. Аналогично снижается при работе на метаноле и содержание сажи в ОГ на 30-40% в зависимости от скоростного режима. Наряду с этим во всем исследуемом диапазоне частот вращения коленчатого вала дизеля наблюдается увеличение содержания CH_4 , CO и CO_2 в ОГ метанольного дизеля по сравнению с серийным дизелем. Так, для CH_4 это увеличение составляет при $n = 1200 \text{ мин}^{-1}$ - 0,05 мг/л, а при $n = 2000 \text{ мин}^{-1}$ - 0,025 мг/л; для CO увеличение составляет при $n = 1200 \text{ мин}^{-1}$ - 0,12% по объему, а при $n = 2000 \text{ мин}^{-1}$ - 0,11% по объему. Поскольку концентрации этих компонентов в ОГ невелики, то такое увеличение их содержания в ОГ не является существенным. Изменение токсичности и дымности ОГ при работе дизеля на метаноле по сравнению с серийным дизелем в зависимости от нагрузки при частоте вращения 1800 мин^{-1} представлено на рис. 4.17 д.

Как видно из графиков, при работе дизеля на метаноле содержание некоторых токсичных компонентов в ОГ заметно снижается. Так, при увеличении нагрузки содержание NO_x в ОГ у серийного дизеля изменяется от 1,95 мг/л до 3,00 мг/л с максимальным значением 3,25 мг/л при $p_c = 0,585 \text{ МПа}$. При работе на метаноле содержание NO_x в ОГ изменяется при увеличении нагрузки от 0,3 мг/л до 0,7 мг/л с максимальным содержанием 1,00 мг/л при $p_c = 0,585 \text{ МПа}$. На номинальном нагрузочном режиме содержание NO_x в ОГ у метанольного дизеля снижается с 3,25 мг/л до 1,00 мг/л или на 69%.

Такое резкое снижение содержания NO_x в ОГ объясняется тем, что скорость тепловыделения и нарастания давления у дизеля, работающего на метаноле, значительно ниже, чем у серийного, что подтверждается уменьшением первого и увеличением второго пика давления тепловыделения и, кроме того, смещением их широко по углу поворота коленчатого вала. Эти факторы являются определяющими в образовании NO_x при сгорании топливно-воздушной смеси в цилиндре.

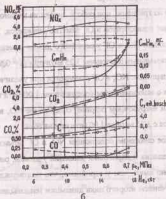
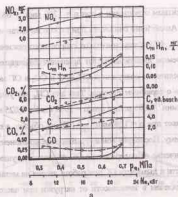


Рис. 4.17. Влияние подкачки метанола при системе двойной топливкодачи на содержание токсичных компонентов в ОГ дизеля 29110,5/12,0 в зависимости от нагрузки: а - при $n = 1800 \text{ мин}^{-1}$; б - при $n = 1400 \text{ мин}^{-1}$; — — — дизельный процесс; — — — метанол с запасным ДТ

Содержание сажи в ОГ при изменении нагрузки у серийного дизеля увеличивается с 1,6 ед. по шкале Боша до 6,2 ед. по шкале Боша. У метанольного дизеля при изменении нагрузки содержание сажи в ОГ изменяется от 2,0 ед. по шкале Боша до 3,8 ед. по шкале Боша. Таким образом, если на малых нагрузках до $p_n = 0,3 \text{ МПа}$ содержание сажи в ОГ при работе на различных топливах практически одинаково, то с увеличением нагрузки различие возрастает и при максимальных значениях достигает 38,7%.

Это объясняется в первую очередь меньшим содержанием углерода и большим содержанием кислорода в топливе, что приводит к ухудшению условий для кренинга и снижению содержания сажи и твердых частиц в ОГ дизеля, работающего на метаноле. Содержание в ОГ дизеля других токсичных компонентов, таких как CH_4 , CO , CO_2 при работе на метаноле несколько выше на малых и средних нагрузках по сравнению с работой на ДТ, однако при дальнейшем увеличении нагрузки их содержание в ОГ выравнивается и достигает значений, близких к серийному дизелю. Так, содержание CH_4 в ОГ при $p_n = 0,690 \text{ МПа}$ составляет 0,170 мг/л при работе на метаноле и 0,160 мг/л при работе на ДТ. Содержание CO в обоих случаях при этой же нагрузке составляет 0,35% по объему. Содержание CO_2 увеличивается при работе на метаноле 17,8% против 6,6% при работе на ДТ.

На частоте вращения 1400 мин^{-1} и работе дизеля на метаноле содержание токсичных компонентов в ОГ в зависимости от нагрузки изменяется аналогичным образом (рис. 4.17,б). Так, содержание оксидов азота при работе на ДТ при увеличении нагрузки изменяется от 2,1 мг/л до 4,4 мг/л с максимальным значением 4,8 мг/л при $p_n = 0,600 \text{ МПа}$. При работе на метаноле содержание NO_x в ОГ при возрастании нагрузки изменяется от 0,4 мг/л до 1,1 мг/л с максимальным содержанием 1,5 мг/л при $p_n = 0,650 \text{ МПа}$. Снижение содержания NO_x в ОГ при номинальной нагрузке $p_n = 0,594 \text{ МПа}$ составляет у метанольного дизеля 68%. Содержание сажи в ОГ дизелей на этой частоте вращения при работе на различных топливах на малых нагрузках 0,2...0,3 МПа находится

примерно на одном уровне и составляет 0,1 ед. по шкале Боша. При увеличении нагрузки содержание сажи в ОГ дизеля при работе на ДТ увеличивается значительно и составляет 1,6 ед. по шкале Боша при $p_c = 0,594$ МПа и 3,7 ед. по шкале Боша при максимальной нагрузке $p_c = 0,710$ МПа. При работе дизеля на метаноле содержание сажи в ОГ при увеличении нагрузки возрастает с 0,1 ед. по шкале Боша до 1,9 ед. по шкале Боша. Таким образом, на максимальной нагрузке при $p_c = 0,710$ МПа у метанольного дизеля, сажи в ОГ содержится меньше на 48,6%. Содержание в ОГ дизеля других токсичных компонентов на частоте вращения 1400 мин⁻¹ при работе на метаноле несколько выше на малых и средних нагрузках по сравнению с работой на ДТ. Вместе с тем при увеличении нагрузки их содержание в ОГ выравнивается и достигает значений серийного дизеля. Например, содержание СН₄ в ОГ при работе на метаноле составляет на малых нагрузках 0,08 мг/л, а при работе на ДТ - 0,02 мг/л. На максимальных нагрузках содержание СН₄ одинаково для обоих топлив - 0,215 мг/л. Содержание СО в ОГ для обоих случаев на всех нагрузках лежит в диапазоне 0,02...0,024% по объему. Содержание СО₂ в ОГ у метанольного дизеля превышает значение для серийного дизеля не более, чем на 0,3...0,4%. Максимальная его концентрация составляет при $p_c = 0,710$ МПа - 7,6% при работе на ДТ и 8% - при работе на метаноле. Таким образом, при работе дизеля 2Ч 10,5/12,0 с непосредственной подачей метанола в КС и воспламенением запальным ДТ возможно получение мощностных показателей на уровне серийного дизеля при использовании 10% ДТ (запального) и 90% метанола (основного), чем достигается экономия до 80% ДТ путем замещения его метанолом, снижается содержание в ОГ оксидов азота на 66...75% и сажи на 40% в условиях работы по скоростной характеристике. При этом снижается максимальное давление сгорания p_c , снижается жесткость процесса, сгорание топлива происходит более мягко, без резких повышений давления, сдвигаясь на индикаторной диаграмме на доли расширения, уменьшается максимальное значение осредненной температуры цикла и температуры ОГ.

5. СНИЖЕНИЕ ТОКСИЧНОСТИ И УЛУЧШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТРАКТОРНЫХ ДИЗЕЛЕЙ ПУТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТАНОЛО-ТОПЛИВНЫХ ЭМУЛЬСИЙ

5.1. Влияние добавок поверхностно-активных веществ на стабильность метано-топливных эмульсий

Для приготовления высокостабильных метано-топливных эмульсий с использованием широко доступных поверхностно-активных веществ определялась оптимальная концентрация вводимой в МТЭ воды, что позволяет использовать необезгаженный метанол (сырец) и тем самым расширить границы его применения.

В качестве эмульгаторов использовались следующие ПАВ: пентаол - эфир многоатомных спиртов и жирных кислот; амбром - продукт конденсации диэтилоламина и олеиновой кислоты; ТЭП-101 - продукт конденсации этаноламина и нафтеновых кислот; эдмалд - продукт этерификации малеинового ангидрида моноэталамида жирных кислот фракции C₁₀ - C₁₆; нефтяной сульфонат - сульфонат нафтеновых кислот, штатная монодиспергирующая присадка к моторным маслам; сукуринимид (С-5А) - алкенилсульфинимид, штатная монодиспергирующая присадка к моторным маслам.

Проба приготавливаемой МТЭ содержала 20, 30 и 40% метанола, 0,5% эмульгатора и различное количество воды (от 5 до 20%).

Результаты по стабильности МТЭ для пяти эмульгаторов, позволяющих получать эмульсии со сравнительно невысокой стабильностью (до 15 мин.) представлены в табл. 5.1 [63, 202, 212].

Анализ полученных результатов показывает, что изменение концентрации воды в метаноле по разному влияет на стабильность МТЭ.

Стабильность МТЭ для различных концентраций воды и метанола

Концентрация метанола в эмульсии, %	Концентрация воды в метаноле, %	Стабильность МТЭ, содержащих эмульгаторы, мин						Нефтяной сульфат
		Пентон	Амлером	ТЭП-101	Эдмалль	Нефтяной сульфат		
20	5	1,5	3,0	6,5	9,5	12,0	12,0	
	10	2,0	5,0	10,0	8,0	10,0	10,0	
	15	3,0	9,5	12,0	8,0	10,0	10,0	
	20	5,0	12,0	13,0	7,0	8,0	8,0	
30	5	1,0	2,0	3,0	4,5	5,0	5,0	
	10	3,0	3,0	3,0	4,0	5,0	5,0	
	15	3,0	7,0	3,0	4,0	5,0	5,0	
	20	3,5	9,5	3,5	3,0	5,0	5,0	
40	5	1,0	1,0	2,0	2,0	2,5	2,5	
	10	1,0	1,0	3,0	2,5	2,5	2,5	
	15	1,0	2,0	3,5	2,5	2,5	2,5	
	20	1,5	2,0	3,5	3,5	3,0	3,0	

В случае приготовления МТЭ с использованием пентона, ТЭП-101 и амлерома, увеличение концентрации воды в метаноле повышает стабильность эмульсии. А при использовании в качестве эмульгаторов эдмалля и нефтяного сульфата увеличение концентрации воды снижает стабильность МТЭ. Таким образом концентрация воды в метаноле должна подбираться для каждого эмульгатора индивидуально, в соответствии с поставленными в экспериментах задачами.

Эмульгатор - сукцинимид, позволяет получать более высокостабильные МТЭ, чем рассмотренные выше эмульгаторы. Причем увеличение концентрации воды в метаноле еще больше увеличивает стабильность эмульсии. На рис. 5.1 представлены зависимости стабильности МТЭ от концентрации воды и метанола с использованием сукцинимида. Как видно из графика увеличение концентрации воды с 5 до 20% повышает стабильность МТЭ в 4...9 раз и достигает даже 30 часов (в отдельных случаях). Вместе с тем с учетом нецелесообразности присутствия большого количества воды ее содержание должно быть ограничено 10%.

В связи с тем, что задачами исследований по применению МТЭ в тракторных дизелях ставились вопросы приготовления эмульсий непосредственно в топливной системе дизеля перед подачей в цилиндры и вне топливной системы, перед началом работы трактора, интерес представляют эмульгаторы, обеспечивающие выполнение этих задач. В первом случае, при выборе ПАВ в качестве эмульгатора, необходимо, кроме показателей стабильности, учитывать также промышленную основу его производства и цену. Во втором случае должна обеспечиваться длительная стабильность МТЭ, обеспечивающая работу дизеля при 8-часовой смене с соответствующим запасом времени для дозаправки. Это связано также наличием застойных зон в системе питания трактора, в которых постоянно накапливается гель высококонцентрированной эмульсии типа «масло в воде».

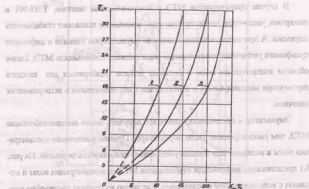


Рис. 5.1. Стабильность МТЭ для различных концентраций воды и метанола (эмульгатор - 1% - сукцинимид): 1 - 20% метанола; 2 - 30% метанола; 3 - 40% метанола

Концентрация ПАВ при этом не должна превышать 2...3%, поскольку дальнейшая концентрация ПАВ может существенно удорожить этот способ приготовления МТЭ. Из шести предложенных выше ПАВ названным задачам наиболее соответствуют эмульгаторы ТЭП-101 и сукцинимид.

На рис. 5.2 представлены изотермы стабильности МТЭ с использованием эмульгатора ТЭП-101. Как видно из графика, эффективность этого ПАВ достаточно велика. Так 1% присадки позволяет обеспечить стабильность эмульсии с концентрацией 30% метанола в течение 5 минут. Причем при снижении содержания метанола в МТЭ это время увеличивается в несколько раз и достигает при 5,0% метанола и 0,5% присадки - 40 мин. При 10% метанола и 1% присадки МТЭ остается стабильной в течение 15 мин., а при увеличении концентрации присадки до 2,0% стабильность эмульсии достигает 22 мин. При 5,0% метанола и 2,0% присадки, МТЭ остается стабильной в течение 48 мин., т.е.

увеличивается более чем в 2 раза. При содержании метанола - 20% и присадки от 0,5% до 2,0% стабильность сохраняется в диапазоне 10...11 мин. Все это дает основание рекомендовать ПАВ ТЭП-101 в качестве эмульгатора для приготовления МТЭ непосредственно в системе питания дизеля.

На рис. 5.3 приведены графики стабильности МТЭ для различных концентраций присадки сукцинимид и метанола. Графики показывают, что сукцинимид является высокоэффективным эмульгатором обратного типа, обеспечивающего высокую стабильность МТЭ. Стабильность такой МТЭ прямо пропорциональна содержанию ПАВ и обратно пропорциональна содержанию метанола в эмульсии. Так содержание 0,5% сукцинимид обеспечивает стабильность эмульсии в течение 5 часов при 40% метанола в ней. Увеличение содержания присадки до 2,0% и 40% метанола повышает стабильность МТЭ уже до 15 часов или в 3 раза. При содержании 30% метанола в МТЭ и присадки в количестве 0,5% и 2,0%, повышает стабильность МТЭ с 6 часов до 24 часов, соответственно. Такая динамика сохраняется и при меньшем содержании метанола в МТЭ. Наибольшую стабильность имела МТЭ с содержанием сукцинимид - 2,0% и метанола 5,0% - 36 часов.

Полученные результаты дают основания рекомендовать сукцинимид в качестве ПАВ для приготовления МТЭ вне топливной системы дизеля, заблаговременно. Учитывая необходимость обеспечения стабильности в течение 7-часовой смены в условиях реальной эксплуатации трактора в дальнейших исследованиях применялся 1,0% сукцинимид, поскольку он обеспечивал необходимую стабильность и при 40% метанола в эмульсии. Для более полной оценки стабильности МТЭ, приготовленных заблаговременно, в качестве топлива для дизелей, необходимо знать их склонность к изменению однородности состава и время до полного разделения дисперсной системы на две фазы.

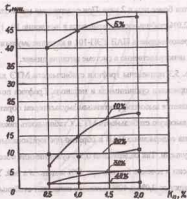


Рис. 5.2. Стабильность МТЭ для различных концентраций присадки ТЭО-101 и метанола: 5%, 10%, 20%, 30%, 40% - содержание метанола в МТЭ

5.2. Исследование стабильности МТЭ с сукцинимидом к седиментации и коалесценции

С этой целью были проведены исследования стабильности эмульсий, приготавливаемых с применением сукцинимида, к седиментации и коалесценции. На рис. 5.4 приведены изотермы стабильности эмульсий к седиментации. Для исследований использовались МТЭ с наибольшим содержанием метанола - 40% - как наиболее неустойчивые.

Как видно из графика, содержание ПАВ изменяет время до начала седиментации, но практически не влияет на интенсивность протекания самого процесса. Так, выделение осадка у эмульсий, содержащих 0,5% ПАВ, начинается через 5 часов после приготовления и заканчи-

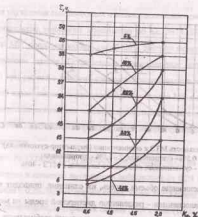


Рис. 5.3. Стабильность МТЭ для различных концентраций присадки сукцинимид и метанола; обозначения см. на рис.5.2

вается через 30 часов. У эмульсий, содержащих 1,0 и 2,0% присадки явление седиментации начинается несколько позже. Во всех случаях процесс происходит примерно с одинаковой интенсивностью, одинаковым промежутком времени и прекращается через 30...35 часов после приготовления эмульсии и выделения 30% от первоначальной высоты столба пробы исследуемой эмульсии. Таким образом, приготавливаемые эмульсии имеют «запас прочности» в течение времени на протекание процесса седиментации, поскольку это еще не характеризует разделение эмульсии на две фазы. В течение этого времени проба эмульсии может принять однофазный состав за счет легкого встряхивания (или вибрации двигателя). После завершения седиментации в пробе эмульсии начинается процесс флокуляции - образование капель составляющих ингредиентов.

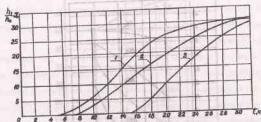


Рис. 5.4. Стабильность МТЭ и седиментация (эмульгатор-сукцинимид):
1 - 0,5% - сукцинимид; 2 - 1,0% - сукцинимид;
3 - 2,0% - сукцинимид; содержание метанола в МТЭ - 40%

Дальнейшее увеличение объема капель, их слипание, приводит к завершению процесса коалесценции - разделению дисперсной среды на метиловую и углеводородную фазу. Для исследуемых эмульсий стабильность коалесценции составила от 5 до 7 суток. Таким образом, проведенные исследования подтвердили возможность стабилизации термодинамически неустойчивых полидисперсных систем ДТ - метанол, введенным ПАВ.

Применение сукцинимидов позволяет снизить свободную энергию на поверхности разрыва фаз за счет образования мономолекулярного слоя и обеспечить стабильность эмульсии в течение длительного времени. Использование таких эмульсий удобно в случае их заблаговременного применения. Применение эмульгаторов, дающих невысокую стабильность МТЭ, может быть оправдано разницей в стоимости и дополнительной установкой специальных устройств для приготовления эмульсий в топливной системе дизеля. Во всех случаях необходима оценка влияния МТЭ на работу топливной аппаратуры дизеля и на изменение его мощностных и экономических показателей, показателей процесса сгорания. Представляет интерес исследование влияния МТЭ на токсические характеристики дизеля.

5.3. Разработка метано-топливных эмульсий

Для улучшения смазывающих и антикоррозионных свойств МТЭ автором была предложена топливная композиция по а.с. №1415762 [215] на основе присадки МР, представляющей собой 20% раствор активного компонента в изопропиловом спирте. Проведенные сравнительные испытания дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе с двойной системой топливоподачи и с использованием топливной композиции, содержащей 0,5% присадки МР в метаноле показали, что мощностные показатели соответствуют показателям серийного дизеля [60, 69], а наличие присадки МР предотвращает задрин плунжерных пар насоса высокого давления.

По а.с. № 1728290 [216] автором предложены МТЭ на основе метанола и ДТ, в которую в качестве эмульгатора добавляется от 0,25 до 0,5% алкилсульфоната и 0,25...0,5% стеарата калия. Такие МТЭ имеют высокую стабильность к седиментации, которая составляет 5...7 суток (табл. 5.2). Данные МТЭ также имеют высокие пропизионные свойства и обеспечивают более высокую герметичность плунжерных пар насоса высокого давления.

5.4. Влияние применения МТЭ на регулировку, рабочий процесс и тепловыделение тракторного дизеля 2Ч 10,5/12,0

В ходе исследований согласно методике изложенной в разделе 3.2.2 и результатов полученных ранее (см. разд. 5.1, 5.2 и 5.3) было определено влияние применения МТЭ на регулировку, рабочий процесс и тепловыделение дизеля 2Ч 10,5/12,0. На рис. 5.5 представлено изменение мощностных и экономических показателей дизеля 2Ч 10,5/12,0 при различных значениях установочного угла опережения впрыскивания топлива и различном содержании метанола в МТЭ для частоты вращения 1800 мин⁻¹. Из графика видно, что при работе дизеля на чистом ДТ оптимальным углом опережения впрыскивания топлива является $\Theta_{всп} = 30^\circ$. Увеличение или уменьшение уста-

новочного угла от этого значения вызывает снижение эффективной мощности дизеля и повышение удельного эффективного расхода топлива. При работе дизеля на МГЭ с различным содержанием метанола характер изменения кривых удельного расхода топлива, эффективной мощности и крутящего момента несколько изменяется. Так максимальные значения эффективной мощности и крутящего момента достигаются при больших значениях $\Theta_{\text{впр}}$. Например, при работе дизеля на МГЭ с содержанием 30% метанола, максимальные значения эффективной мощности и крутящего момента достигаются при $\Theta_{\text{впр}} = 32...34^\circ$. В то же время минимальный g_e соответствует $\Theta_{\text{впр}} = 32^\circ$ и составляет 300 г/кВт·ч. При изменении $\Theta_{\text{впр}}$ в ту или иную сторону g_e возрастает.

С учетом лучшей экономичности работы дизеля и при максимальном значении эффективной мощности $N_{\text{к. макс}} = 18,36$ кВт при $\Theta_{\text{впр}} = 34^\circ$, этот угол можно считать оптимальным установочным углом опережения впрыскивания топлива для работы на МГЭ с содержанием 30% метанола. Однако, из-за появления сильных стуков работа дизеля на таком режиме практически невозможна. В связи с этим оптимальным углом в этом случае необходимо считать $\Theta_{\text{впр}} = 30^\circ$. Для работы дизеля на эмульсии с меньшим содержанием метанола этот угол также будет оптимальным. Работа дизеля на эмульсии с содержанием 40% метанола сопровождалась сильными шумами и стуками, поэтому была признана нецелесообразной. В дальнейших испытаниях количество содержащегося в эмульсии метанола было ограничено 30%, обеспечивавшими нормальную работу дизеля. Исследование показателей процесса сгорания при работе дизеля 24 10,5/12,0 на МГЭ с различным содержанием метанола производилось с помощью индиферента на номинальном скоростном режиме с частотой вращения 1800 мин⁻¹ и на режиме максимального крутящего момента с частотой вращения 1400 мин⁻¹.

Таблица 5.2
Состав метано-топливных эмульсий по а.с. №1728290 и их влияние на стабильность

Топливо эмульсия, г/л	Содержание компонентов, мас. %					Стабильность, ч		Стабильность к оседанию, сутки
	Метанол	Вода	Алилов-сукцинол	Жидкое щелочное (стабилизатор)	Дизельное топливо	С добавкой полиакрилонитрила	Без добавки полиакрилонитрила	
1	5	0	0,25	0,25	До 100	0,5	0,1	-
2	5	0	0,25	0,25	До 100	0,5	0,1	-
3	5	0	0,5	0,5	До 100	0,5	0,1	-
4	5	0,5	0,25	0,25	До 100	44	0,1	7
5	5	0,5	0,35	0,35	До 100	46	0,1	7
6	5	0,5	0,5	0,5	До 100	48	0,1	7
7	10	0	0,25	0,25	До 100	0,5	0,1	-
8	10	0	0,35	0,35	До 100	0,5	0,1	-
9	10	0	0,5	0,5	До 100	0,5	0,1	-
10	10	1,0	0,25	0,25	До 100	37,5	0,1	7
11	10	1,0	0,35	0,35	До 100	39	0,1	7
12	10	1,0	0,5	0,5	До 100	40	0,1	6
13	20	0	0,25	0,25	До 100	0,2	0,1	-
14	20	0	0,35	0,35	До 100	0,2	0,1	-
15	20	0	0,5	0,5	До 100	0,3	0,1	-
16	20	2,0	0,25	0,25	До 100	19	0,1	5
17	20	2,0	0,35	0,35	До 100	22	0,1	6
18	20	2,0	0,5	0,5	До 100	24	0,1	6
19	30	0	0,25	0,25	До 100	0,2	0,05	-
20	30	0	0,35	0,35	До 100	0,2	0,05	-
21	30	0	0,5	0,5	До 100	0,2	0,05	-
22	30	3,0	0,25	0,25	До 100	9	0,05	6
23	30	3,0	0,35	0,35	До 100	12	0,05	6
24	30	3,0	0,5	0,5	До 100	14	0,05	7
25	40	0	0,25	0,25	До 100	0,1	0,05	-
26	40	0	0,35	0,35	До 100	0,1	0,05	-
27	40	0	0,5	0,5	До 100	0,2	0,05	-
28	40	4,0	0,25	0,25	До 100	6	0,05	5
29	40	4,0	0,35	0,35	До 100	8	0,05	5
30	40	4,0	0,5	0,5	До 100	9	0,05	5

При работе дизеля в режиме максимального крутящего момента с частотой вращения коленчатого вала 1400 мин^{-1} значения угла периода задержки воспламенения меньше, чем на частоте вращения 1800 мин^{-1} . Так при работе на дизельном топливе $\phi_d = 22,7$ градуса, значения углов, соответствующих периоду задержки воспламенения при работе дизеля на МТЭ с различным содержанием метанола равны $\phi_{d10} = 23,1$ градуса и $\phi_{d20} = 25,3$ градуса (см. рис. 5.6, б).

Значения периода задержки воспламенения для частот вращения 1800 мин^{-1} , 1400 мин^{-1} , выраженные во времени, отличаются незначительно, что может быть объяснено лишь небольшой разницей температурных режимов работы дизеля. Рост периода задержки воспламенения обуславливает накопление большего количества топлива, вырванного в цилиндр за это время и увеличение скорости сгорания. В результате повышается жесткость процесса. Так, при $n = 1800 \text{ мин}^{-1}$ и работе по дизельному процессу $(dp/d\phi)_{\text{max}, d} = 0,461$ МПа/градус, а при работе на эмульсии $(dp/d\phi)_{\text{max}, 10} = 0,524$ МПа/градус, $(dp/d\phi)_{\text{max}, 20} = 0,570$ МПа/градус и $(dp/d\phi)_{\text{max}, 30} = 0,627$ МПа/градус. При частоте вращения 1400 мин^{-1} жесткость несколько выше. При работе на чистом ДТ $(dp/d\phi)_{\text{max}, d} = 0,516$ МПа/градус, а при работе на эмульсии, соответственно, $(dp/d\phi)_{\text{max}, 10} = 0,625$ МПа/градус, $(dp/d\phi)_{\text{max}, 20} = 0,703$ МПа/градус и $(dp/d\phi)_{\text{max}, 30} = 0,797$ МПа/градус. Жесткость процесса сгорания при работе на эмульсии с содержанием 30% метанола достаточно высока. Работа дизеля сопровождается повышающимися стуками, поэтому, в целях обеспечения долговечности его работы имеет смысл ограничить содержание метанола в эмульсии 30% или даже снизить до 25%. В дальнейших испытаниях содержание метанола в эмульсии не превышало 30%. Работа дизеля на МТЭ сопровождается также некоторым увеличением максимального давления сгорания p_c . Так, при частоте вращения 1800 мин^{-1} $p_{c0} = 7,276$ МПа, $p_{c10} = 7,398$ МПа, $p_{c20} = 7,471$ МПа и $p_{c30} = 7,535$ МПа (см. рис. 5.6, а).

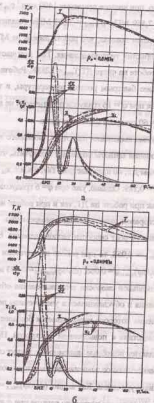


Рис. 5.7. Влияние применения МТЭ на характеристики теплового двигателя дизеля 2Ч 10,5/12,0: а - $n = 1800 \text{ мин}^{-1}$, $\Theta_{\text{всп}} = 30^\circ$, $p_c = 0,6 \text{ МПа}$; б - $n = 1400 \text{ мин}^{-1}$, $\Theta_{\text{всп}} = 30^\circ$, $p_c = 0,611 \text{ МПа}$; — дизельный процесс; - - - 10% метанола в МТЭ; - · - · 20% метанола в МТЭ; · · · · 30% метанола в МТЭ

Соответственно, при частоте вращения 1400 мин^{-1} $p_{\text{ци}} = 7,369 \text{ МПа}$, $p_{\text{выт}} = 7,479 \text{ МПа}$, $p_{\text{всв}} = 7,569 \text{ МПа}$, $p_{\text{двсв}} = 7,883 \text{ МПа}$. Анализ данных обработки индикаторных диаграмм показал, что работа дизеля на МТЭ сопровождается изменением характеристик тепловыделения. Так, при частоте вращения 1800 мин^{-1} (рис. 5.7,а) и работе на чисто ДТ $T_{\text{всв}} = 2283 \text{ К}$. Работа дизеля на эмульсии сопровождается более быстрым ростом температуры, а то же время максимальные ее значения при $\varphi = 16$ градусов практически не изменяются, а к концу сгорания при $\varphi = 60$ градусов несколько сниже.

Сравнение кривых выделения теплоты x , активного тепловыделения x_i и динамики использования теплоты позволяет заключить, что сгорание МТЭ начинается позднее, чем ДТ, но идет быстрее. Так, в в.м.т. $x_{\text{всв}} = 0,240$, $x_{\text{всв}10} = 0,240$, $x_{\text{всв}20} = 0,218$ и $x_{\text{всв}30} = 0,189$. Однако, уже при $\varphi = 6$ градусов значения активного тепловыделения как при работе на ДТ, так и при работе на эмульсии выравниваются. Процесс сгорания заканчивается одновременно. Ускорение процесса сгорания обуславливает рост скорости тепловыделения. Если для дизельного процесса $(dx/d\varphi)_{\text{всв}16} = 0,058$, то при работе на эмульсии эти значения равны, соответственно $(dx/d\varphi)_{\text{всв}10} = 0,066$, $(dx/d\varphi)_{\text{всв}20} = 0,073$ и $(dx/d\varphi)_{\text{всв}30} = 0,082$. Увеличение максимальной скорости тепловыделения объясняет рост жесткости процесса сгорания и обуславливается увеличением периода задержки воспламенения, в течение которого впрыскивается большое количество топлива, сгорающего впоследствии с повышенной быстротой. При частоте вращения 1400 мин^{-1} наблюдаются подобные зависимости: растут скорость активного тепловыделения и максимальное значение динамики тепловыделения, снижается осредненная температура цикла. Как видно, $(dx/d\varphi)_{\text{всв}16} = 0,061$, $(dx/d\varphi)_{\text{всв}10} = 0,110$. Сгорание заканчивается несколько раньше при $\varphi = 33...38$ градусах (рис. 5.7,б). Осредненная температура газов несколько выше, чем при $n = 1800 \text{ мин}^{-1}$, однако и в этом случае значения ее снижаются с увеличением количества метанола в эмульсии. Таким образом, результаты индиферования показывают

увеличение скорости процесса сгорания при работе на МТЭ на всех исследованных скоростных режимах, а также целесообразность ограничения количества метанола в эмульсии 25...30%. Испытания, проведенные на МТЭ, приготовленной в топливной системе дизеля с использованием разработанного смесителя (по а.с. № 1731973) [213] дали аналогичные результаты.

5.5. Снижение токсичности и улучшение эксплуатационных показателей тракторного дизеля 24 10,5/12,0 путем применения МТЭ

Влияние применения МТЭ с различным содержанием в эмульсии метанола на эксплуатационные показатели тракторного дизеля 24 10,5/12,0 определялось по нагрузочным и скоростным характеристикам. На рис. 5.8, а представлено влияние применения МТЭ на мощностные и экономические показатели дизеля в зависимости от нагрузки при $n = 1800 \text{ мин}^{-1}$. Как видно из графиков, во всем диапазоне изменения нагрузки растет суммарный часовой расход топлива при работе на МТЭ. В то же время, расход ДТ уменьшается за счет замещения его метанолом. Так, на номинальной нагрузке при $p_{\text{в}} = 0,6 \text{ МПа}$ и работе по дизельному процессу $G_{\text{дт}} = 4,5 \text{ кг/ч}$, а при работе на МТЭ с содержанием метанола в смеси 10, 20 и 30% расход ДТ составляет 4,34, 4,21 и 3,95 кг/ч, т.е. экономия ДТ равняется, соответственно, 3,5%, 6,4% и 13,7%. На больших нагрузках, например, при $p_{\text{в}} = 0,72 \text{ МПа}$ экономия ДТ возрастает до 17% в случае работы на МТЭ с 30% метанола. Удельный эффективный расход топлива также увеличивается: для дизельного процесса $g_{\text{всв}} = 250 \text{ г/кВт}\cdot\text{ч}$, а при работе на эмульсии с содержанием 10, 20 и 30% метанола $g_{\text{всв}10} = 271$, 292 и 311 г/кВт·ч, соответственно. Увеличение удельного эффективного и часового расходов топлива объясняется меньшей, чем у ДТ, теплотой сгорания метанола. Значение эффективного к.п.д., учитывающего использование теплотворной способности топлива при работе дизеля на МТЭ остается практически неизменным относительно дизельного процесса.

ставляет $g_{\text{min}} = 247 \text{ г/кВт}\cdot\text{ч}$. При работе дизеля на МТЭ этот минимум также сдвигается в сторону меньших нагрузок. Так, для МТЭ с 10% метанола $g_{\text{min}} = 266 \text{ г/кВт}\cdot\text{ч}$ при $p_c = 0,6 \text{ МПа}$, для МТЭ с 20% метанола $g_{\text{min}} = 282 \text{ г/кВт}\cdot\text{ч}$ при $p_c = 0,570 \text{ МПа}$ и для МТЭ с 30% метанола $g_{\text{min}} = 302 \text{ г/кВт}\cdot\text{ч}$ при $p_c = 0,545 \text{ МПа}$. Максимум эффективного к.п.д. дизеля также несколько смещается в сторону меньших нагрузок при работе его на МТЭ. Коэффициент наполнения не изменяется во всем диапазоне нагрузок по отношению к значениям при дизельном процессе. Применение МТЭ способствует снижению температуры ОГ во всем диапазоне нагрузок, причем, с увеличением содержания метанола в МТЭ и повышением нагрузки это снижение заметно.

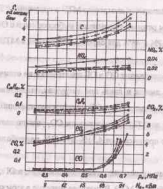
Влияние применения МТЭ на содержание токсичных компонентов ОГ дизеля 24 10,5/12,0 в зависимости от нагрузки при частоте вращения 1800 мин⁻¹ представлено на рис. 5.9,а. Как видно из графиков, содержание оксидов азота NO_x в ОГ уменьшается при работе на МТЭ. Так, на номинальном режиме при $p_c = 0,6 \text{ МПа}$ содержание NO_x в ОГ для дизельного процесса составляет 0,036%, а для МТЭ, содержащей 30% метанола, это значение равно 0,017%, причем с увеличением нагрузки эта разность увеличивается. Согласно термической природе образования оксидов азота NO_x их эмиссия находится в прямой зависимости от содержания свободного кислорода в пламени при условии достаточно высокой его температуры. Снижение локальной и средней температур цикла в случае работы на МТЭ непосредственно обуславливает снижение эмиссии оксидов азота. В то же время концентрация NO_x находится в прямой зависимости от величины нагрузки, поскольку параллельно с нагрузкой растет температура ОГ.

Содержание сажи в ОГ также снижается в случае работы дизеля на МТЭ по сравнению с дизельным процессом. Так, увеличение нагрузки от $p_c = 0,24 \text{ МПа}$ до $p_c = 0,72 \text{ МПа}$ влечет рост выброса сажи от 2,3 до 7,3 ед. по шкале Боша, в то время, как работа на МТЭ сопровождается меньшей эмиссией сажи во

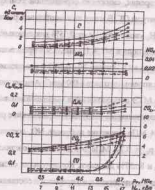
всем диапазоне нагрузок. Снижение, как и следовало его ожидать, выпадает меньшей склонностью к дымлению МТЭ в сравнении с ДТ. Так, на номинальном скоростном режиме, уменьшение выбросов сажи с ОГ составляет, соответственно 17%, 37% и 48% для случаев содержания в МТЭ 10%, 20% и 30% метанола.

Уровень содержания CO в ОГ практически не отличается от его значения для серийного дизеля и лишь при нагрузках, выше номинальной, несколько возрастает. Содержание CO_2 в ОГ меняется неоднородно. Так, при повышении p_c от 0,24 МПа до 0,72 МПа содержание CO_2 увеличивается от 3,77% до 9,13% для дизельного процесса и от 4,31% до 9,81% для работа на МТЭ с 30% метанола.

Содержание суммарных углеводородов C_nH_m в ОГ дизеля несколько возрастает при работе на МТЭ. Решающее значение в этом случае оказывает ускорение процесса горения, снижение осредненной температуры цикла и, как следствие, температуры ОГ. В итоге на номинальном режиме при $p_c = 0,6 \text{ МПа}$, концентрация C_nH_m увеличивается от 0,05% для дизельного процесса до 0,1% для случая 30% метанола в МТЭ. На рис. 5.9,б представлено содержание токсичных компонентов в ОГ дизеля 24 10,5/12,0 в зависимости от нагрузки при частоте вращения коленчатого вала 1400 мин⁻¹. Анализ данных показывает, что работа дизеля на МТЭ сопровождается уменьшением выброса оксидов азота NO_x и сажи во всем диапазоне нагрузок по сравнению с работой на чистом ДТ. Так, при $p_c = 0,24 \text{ МПа}$ снижение выбросов NO_x составляет 41...56%, сажи - 16...66%, а при $p_c = 0,72 \text{ МПа}$ это снижение составляет, соответственно, 39...61% для NO_x и 8...37% для сажи. Концентрация оксида углерода CO в ОГ дизеля остается на уровне дизельного процесса и составляет 0,02...0,04%. Лишь при достижении достаточно больших нагрузок эмиссия CO значительно усиливается. Так, при $p_c = 0,66 \text{ МПа}$ содержание CO достигает 0,2%.



а



б

Рис. 5.9. Влияние применения МТЭ на содержание токсичных компонентов в ОГ, двигателя 24 10,5/12,0 в зависимости от нагрузки: а - при $n = 1800 \text{ мин}^{-1}$; б - при $n = 1400 \text{ мин}^{-1}$; \circ — дизельный процесс; \square — 10% метанола в МТЭ; \times — 20% метанола в МТЭ; Δ — 30% метанола в МТЭ

Содержание диоксида углерода CO_2 в ОГ, как уже отмечалось, находится в сложной зависимости от параметров процесса сгорания. При частоте вращения 1400 мин^{-1} концентрации CO_2 меньше соответствующего значения для дизельного процесса во всем диапазоне нагрузок. Причем, в абсолютном значении это снижение составляет 0,1...0,5% для $p_k = 0,24 \text{ МПа}$ и 0,2...1,8% для $p_k = 0,72 \text{ МПа}$. Количество негоревших суммарных углеводородов C_mH_n несколько увеличивается при работе на МТЭ по сравнению с дизельным процессом. Однако, как и при $n = 1800 \text{ мин}^{-1}$, с увеличением количества метанола в МТЭ эти разницы уменьшаются, а при содержании метанола 30% значения концентрации C_mH_n даже ниже уровня дизельного процесса. Можно заключить, что, несмотря на то, что рост скорости горения МТЭ способствует увеличению количества неуспевших сгореть сложных полициклических углеводородов, суммарный их выход снижается вследствие снижения доли ДТ, образующей основное количество C_mH_n в общем количестве суммарного топлива.

Влияние применения МТЭ в зависимости от частоты вращения дизеля 24 10,5/12,0 на мощностные и экономические показатели представлено на рис. 5.10.а. Из графиков видно, что работа дизеля на МТЭ не изменяет его эффективных показателей, т.к. кривые значений эффективной мощности, крутящего момента и эффективного к.п.д. совпадают с аналогичными кривыми дизельного процесса. Постоянным также остается часовой расход воздуха и коэффициент наполнения. Часовой расход ДТ при работе на МТЭ уменьшается во всем диапазоне изменения частот вращения. Так, при 1400 мин^{-1} экономия ДТ составляет по сравнению с дизельным процессом 18,5%, а при 1800 мин^{-1} — 13,7% в случае введения в МТЭ 30% метанола. Минимум удельного эффективного расхода топлива смещается в сторону меньших частот вращения, т.к. присутствие метанола в топливе облегчает его фракционный состав и уменьшает значение скорости воздуха на впуске.

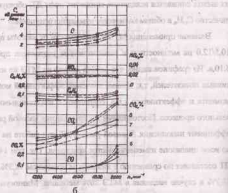
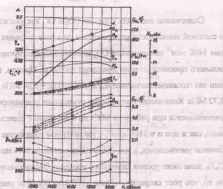


Рис. 5.10. Влияние применения МТЭ в зависимости от частоты вращения дизеля 2Ч 10,5/12,0: а - на мощностные и экономические показатели; б - на содержание токсичных компонентов в ОГ; о - дизельный процесс; --- о - 10% метанола в МТЭ; х - - - - 20% метанола в МТЭ; Δ - - - Δ - 30% метанола в МТЭ

Температура ОГ при работе дизеля на МТЭ ниже соответствующих значений для дизельного процесса во всем диапазоне частот вращения. В результате снижается тепловая напряженность цилиндро-поршневой группы и появляется возможность форсирования дизеля по среднему эффективному давлению, не снижая показателей его долговечности. Испытания, проведенные на МТЭ, приготовленной в топливной системе дизеля с использованием разработанного смесителя, дали аналогичные результаты. Тем самым подтверждается возможность использования любого из двух предложенных способов приготовления эмульсии.

На рис. 5.10,б представлено влияние применения МТЭ в зависимости от частоты вращения дизеля 2Ч 10,5/12,0 на содержание токсичных компонентов в ОГ. Анализ данных показывает, что содержание всех токсичных компонентов (за исключением CO и C_nH_m) возрастает с увеличением частоты вращения. Так, содержание NO_x увеличивается с 0,025% при 1200 $мин^{-1}$ до 0,031% при 2000 $мин^{-1}$ в случае работы на ДГ. Однако в случае работы на МТЭ с 30% метанола содержание NO_x увеличивается лишь с 0,012% при 1200 $мин^{-1}$ до 0,016% при 2000 $мин^{-1}$. Содержание сажи в ОГ при работе на МТЭ также снижается, однако, с увеличением частоты вращения это снижение менее выражено. Если при $n = 1200 \text{ мин}^{-1}$ это снижение составляло 49%, то при $n = 2000 \text{ мин}^{-1}$ оно составляет 28%. Содержание CO остается на уровне дизельного процесса и лишь с повышением частоты вращения несколько увеличивается, содержание CO_2 и C_nH_m повышается незначительно. Анализ полученных экспериментальных данных позволяет утверждать, что применение МТЭ в качестве топлива для дизелей существенно снижает эмиссию в ОГ основных токсичных компонентов - оксидов азота, сажи и оксидов углерода. На всех исследуемых скоростных и нагрузочных режимах это утверждение справедливо. Содержание других токсичных компонентов - диоксида углерода и суммарных углеводородов остается на уровне дизельного процесса или увеличивается незначительно.

Таблица 6.1.
 Результаты опытов и значения дисперсий в точках при исследовании
 подачи метанола и воды на впуске дизеля 2Ч 10,5/12,0

Индекс отклика	Параметры										
	N_1	S_1^2	NO_x	S_1^2	C_{6H_6}	S_1^2	C	S_1^2	CO	S_1^2	S_1^2
Y_1	21,12	0,0108	3,703	0,0272	0,112	0,000163	7,966	0,063334	0,756	0,00246	
Y_2	10,92	0,0108	2,690	0,0144	0,017	0,000046	3,450	0,157600	0,038	0,000556	
Y_3	14,94	0,0324	2,426	0,0477	0,025	0,000028	2,966	0,003334	0,228	0,00174	
Y_{12}	12,78	0,0324	1,800	0,8240	0,009	0,000025	2,633	0,100833	0,105	0,00194	
Y_{13}	17,34	0,0396	2,133	0,0072	0,028	0,000039	5,366	0,003334	0,215	0,00310	
Y_{21}	19,26	0,0324	2,746	0,0140	0,026	0,000061	5,716	0,039834	0,189	0,00230	
Y_{22}	16,56	0	2,100	0,0169	0,035	0,000021	4,750	0,030000	0,212	0,002300	

Таблица 6.2.

Результаты статистического анализа уравнений регрессии
 при исследовании подачи метанола и воды на впуске дизеля 2Ч 10,5/12,0

Параметры	C_0	C_1	S_1^2	S_1^2	Y_{max}	Y_{min}	Y_{max}	ΔY	F	$t_{рас}$	$t_{крит}$
N_1	0,250	0,5612	0,0226	16,56	16,4433	0,120	0,51	1,725	2,3646		
NO_x	0,3151	0,5612	0,0216	2,100	2,2874	0,19	0,51	1,822	2,3646		
CH_4	0,4256	0,5612	0,000054	0,035	0,04667	0,01167	0,51	2,2547	2,3646		
C	0,399574	0,5612	0,056309	4,750	4,81	0,06	0,51	0,357	2,3646		
CO	0,2053	0,5612	0,00216	0,212	0,3270	0,1150	0,51	3,485	3,5		

Результаты статистического анализа и проверки адекватности полученных уравнений представлены в табл. 6.2. Проверка показала, что процесс воспроизводим, а полученные уравнения небольшого третьего порядка адекватны.

По уравнениям 6.1...6.5 зависимости свойств трехкомпонентных смесей от их состава представлены изотермиями в барисентрических координатах - треугольными диаграммами состав-свойство на рис. 6.1...6.5. Вспомогательные графики, полученные по результатам решений уравнений, необходимые для построения изотермий, представлены в приложении 2. Анализ полученных диаграмм состав-свойство позволяет сделать вывод о сложности протекающих в цилиндрах дизеля процессах при изменении соотношений совместно подаваемых на впуске метанола и воды, а также изменении количества подаваемого ДТ. Так при изменении подачи метанола, воды на впуске и ДТ в кодовых переменных от 0 до 1,0 (см. рис. 6.1) мощность дизеля меняется в широких пределах от 12 до 20 кВт. При этом можно отметить отличия в составах смесей при получении одной и той же мощности. Так, площадь диаграммы, соответствующая мощности выше 17 кВт, образует сложную конфигурацию (заштрихованный участок). Состав смесей получился следующий: точка а (ДТ - 0,8; метанола (М) - 0,1; воды (В) - 0,1); точка б (ДТ - 0,6; М - 0,3; В - 0,1); точка в (ДТ - 0,5; М - 0,5; В - 0); точка г (ДТ - 0,3; М - 0,5; В - 0,2); точка д (ДТ - 0; М - 0,3; В - 0,7); точка е (ДТ - 0; М - 0,6; В - 0,4); точка ж (ДТ - 0; М - 0,8; В - 0,2). Это позволяет сделать вывод о том, что подача метанола и воды на впуске позволяет поддерживать мощность дизеля в определенном интервале даже при значительном снижении расхода ДТ (до 0 в кодовых переменных) и замещении его метанолом. Совместное взаимодействие метанола, воды на впуске и ДТ на содержание оксидов азота в ОГ дизеля представлено на рис. 6.2. Изменение подаваемых смесей влияет на содержание NO_x от 1,8 до 2,7 мг/л. Площадь диаграммы, соответствующая концентрации NO_x до 2,3 мг/л, охватывает крайне различные составы смесей (заштрихованный участок).

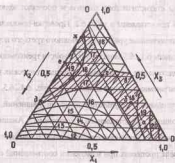


Рис. 6.1. Диаграмма состав-свойство для эффективной мощности в кодных переменных при исследовании поддачи метанола и воды на впуске дизеля 24 10,5/12,0

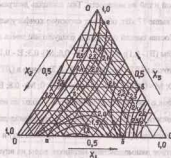


Рис. 6.2. Диаграмма состав-свойство для оксидов азота в кодных переменных при исследовании азотки метанола и воды на впуске дизеля 24 10,5/12,0

Например, точка а имеет состав (ДТ - 0,2; М - 0; В - 0,8); точка б (ДТ - 0,7; М - 0; В - 0,3); точка в (ДТ - 0,6; М - 0,4; В - 0); точки г (ДТ - 0,2; М - 0,3; В - 0,5); точка д (ДТ - 0,2; М - 0,7; В - 0,1); точка е (ДТ - 0,1; М - 0,9; В - 0). Полученные данные говорят о том, что при одинаковом уровне содержания оксидов азота в ОГ можно заменить метанолом и водой ДТ в значительных количествах и снижать его поддучу до 0,1 (в кодных переменных).

При совместном взаимодействии метанола, воды на впуске и ДТ концентрация сажи изменяется в широких пределах от 2,5 до 7,0 ед. по шкале Боша (рис. 6.3). Площадь диаграммы, соответствующая концентрации сажи до 4,5 ед. по шкале Боша охватывает различные составы смесей (заштрихованный участок). Так, точка а имеет состав (ДТ - 0,1; М - 0; В - 0,9); точка б (ДТ - 0,7; М - 0; В - 0,3); точка в (ДТ - 0,5; М - 0,4; В - 0,1); точки г (ДТ - 0,3; М - 0,7; В - 0); точка д (ДТ - 0; М - 0,1; В - 0,9). Таким образом, сохраняя содержание сажи в ОГ на уровне, не превышающем 4,5 ед. по шкале Боша, можно заменять метанолом и водой ДТ и снижать его поддучу до 0 (в кодных переменных). Для оксида углерода (рис. 6.4) наблюдается аналогичная картина. Здесь содержание оксида углерода в ОГ менее 0,35% соответствует большая часть диаграммы состав-свойство и значительное количество различных по составу смесей метанола и воды на впуске, а также ДТ. Так, точке а соответствует состав (ДТ - 0; М - 0; В - 1,0); точке б (ДТ - 0,7; М - 0; В - 0,3); точке в (ДТ - 0,6; М - 0,4; В - 0); точка г (ДТ - 0; М - 1,0; В - 0). Концентрация углеводородов в ОГ изменяется от 0,01 мг/л до 0,1 мг/л при совместном взаимодействии метанола, воды на впуске и ДТ (рис. 6.5). При этом концентрация углеводородов изменяется незначительно в пределах всей площади диаграммы и возрастает более 0,05 мг/л только в правом углу при увеличении поддачи ДТ свыше 0,7, метанола менее 0,3 и воды менее 0,2. По оксиду углерода и углеводородам возможна работа дизеля с замещением метанолом ДТ и снижением его поддачи до 0 (в кодных переменных).

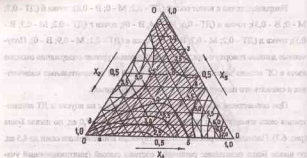


Рис. 6.3. Диаграмма состава-свойство для сажи и углеводных переменных при исследовании топлив метанола и воды на впуске дизеля 24 10,5/12,0

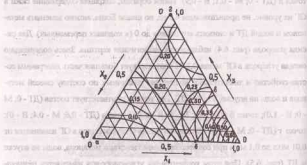


Рис. 6.4. Диаграмма состава-свойство для оксида углерода в топливных переменных при исследовании топлив метанола и воды на впуске дизеля 24 16,5/12,0

С целью определения составов смесей метанола, воды и ДТ, подаваемых в цилиндры дизеля и их граничных значений, обуславливающих получение наилучших показателей по всем исследуемым параметрам работы дизеля, необходимо на один симплекс нанести изолинии равного выхода, ограничивающие оптимальные участки по всем полученным диаграммам состав-свойство. От степени требований к ограничениям, предъявляемым к оптимальным участкам диаграмм по соображениям получения лучших мощностных и токсических показателей в значительной степени зависит выбор и пределы изменения составов смесей метанола, воды и ДТ, соответственно, количество замещаемого метанолом ДТ.

На рис. 6.6 на симплексе нанесены граничные изолинии мощностных и токсических показателей работы дизеля. По мощности нанесена область значений более 17 кВт, по оксидам азота изолинии, соответствующие концентрации 2,3 и 2,5 мг/л, по саже - 4,5 и 5,5 ед. по шкале Боша, по оксидам углерода - 0,35 и 0,40%, по углеводородам - 0,04 и 0,05 мг/л. Анализ совместно нанесенных на симплекс изолиний показывает, что при мощности выше 17 кВт на размеры этой области и первую очередь оказывают влияние оксиды азота. Увеличение допустимой концентрации оксидов азота всего на 0,2 мг/л значительно увеличивает область получения мощности выше 17 кВт. Вторым компонентом по степени жесткости наложения ограничений на получение больших мощностей, а следовательно и составов смесей, следует сажа. Область мощностей выше 17 кВт резко увеличивается при возрастании допустимой дымности ОГ с 4,5 до 5,5 ед. по шкале Боша. Меньшие ограничения на мощность дизеля накладывают требования по оксидам углерода в ОГ. В отличие от оксидов азота и сажи изолинии для CO - 0,3% и 0,4%, а для углеводородов - 0,04 и 0,05 мг/л появляются только в правом углу симплекса, в то время как оксиды азота и сажа ограничивают мощность в левой половине симплекса.

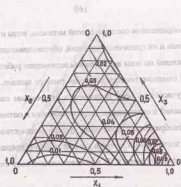


Рис. 6.5. Диаграмма состав-свойство для углеводородов в кодовых переменных при исследовании подачи метанола и воды на впуске дизеля 24 10.5/12.0

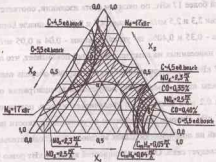


Рис. 6.6. Ограничения, накладываемые на мощность и составы смесей по токсическим показателям в кодовых переменных при исследовании подачи метанола и воды на впуске дизеля 24 10.5/12.0

На рис. 6.6 (заштрихованный участок) ограничена область мощности выше 17 кВт по оксидам азота изохронными, соответствующими концентрации $\text{NO}_x = 2.3 \text{ мг/л}$. Эта область имеет следующие ограничения по составу смесей метанола, воды и ДТ: $0.2 \leq \text{ДТ} \leq 0.6$; $0.2 \leq \text{M} \leq 0.7$; $0.1 \leq \text{B} \leq 0.4$. При рассмотрении ограничений по оксидам азота в 2.5 мг/л составы смесей для получения мощности более 17 кВт будут иметь следующие ограничения (участок с двойной штриховкой): $0.1 \leq \text{ДТ} \leq 0.7$; $0.1 \leq \text{M} \leq 0.9$; $0.1 \leq \text{B} \leq 0.6$.

При этом необходимо отметить, что при работе дизеля на смесях в области, ограниченной, по ДТ - $0 \leq \text{ДТ} \leq 0.5$; метанолу - $0.4 \leq \text{M} \leq 1.0$; воде - $0.3 \leq \text{B} \leq 1.0$; ограничения по углеводородам и оксидам углерода не накладываются из-за малых значений, в отличие от области в правом углу симплекса. Вместе с тем, получаемая мощность в обеих областях имеет одинаковый диапазон от 17 до 19 кВт. Так точки б и в принадлежат изолинии 18 кВт, однако, в точке б ОГ имеют значительно меньшее содержание токсичных компонентов, чем в точке в. При этом в точке б соответствуют расходы ДТ - 0.12; метанола - 0.60; воды - 0.28, а в точке в - ДТ - 0.7; метанола - 0.2; воды - 0.1. Таким образом, при различных составах смеси метанола, воды и ДТ возможно получение одинаковой мощности при меньшей токсичности ОГ, увеличивая количество метанола, подаваемого на впуск с 0.2 до 0.6, заменяя соответствующее количество ДТ.

Для перехода от кодовых переменных к натуральным используется система уравнений 2.10. Например, точка а (см. рис.б, 6) с координатами (ДТ - 0.3; М - 0.4; В - 0.3) соответствует мощности дизеля 16.9 кВт. Чтобы получить такую мощность в этой точке необходимо составить смесь в натуральных переменных со следующим содержанием ДТ, метанола и воды:

$$\text{ДТ} = 1.0 \cdot 0.3 + 0.5 \cdot 0.3 + 0.5 \cdot 0.4 = 0.65,$$

$$\text{В} = 0.5 \cdot 0.3 + 0.2 \cdot 0.4 = 0.23;$$

$$\text{М} = 0.3 \cdot 0.4 = 0.12;$$

$$\text{ДТ} + \text{В} + \text{М} = 0.65 + 0.23 + 0.12 = 1.0$$

Таким образом, в исследованной области факторного пространства, изменяя количество и соотношения подаваемых в цилиндры дизелей метанола, воды и ДТ можно прогнозировать содержание токсичных компонентов в ОГ, мощностные показатели дизеля, а также планировать замещение метанолом ДТ, не ухудшая показатели работы дизеля, оптимизируя таким образом его эксплуатационные показатели.

6.2. Снижение токсичности и улучшение эксплуатационных показателей тракторного дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с системой двойной топливноподачи и подачи воды во впускной трубопровод на основе теории планирования эксперимента

Для оценки совместного влияния подачи воды во впускной трубопровод, впрыскивания метанола и ДТ с помощью системы двойной топливноподачи в цилиндры на мощностные показатели, содержание токсичных компонентов и диаметр ОГ дизеля 2Ч 10,5/12,0 было применено планирование эксперимента по симплекс-решетчатому плану Шеффе при исследовании локальных участков диаграмм состав-свойство. Методика исследований изложена в разделе 2.2, а результаты опытов и значения дисперсий в точках представлена в табл. 6.3.

По результатам эксперимента для дизеля 2Ч 10,5/12,0 при подаче метанола непосредственно в камеру сгорания (КС) и воды на впуске получены следующие модели неполого третьего порядка:

$$N_e = 21,37x_1 + 0,48x_2 + 22,65x_3 + 17,18x_1x_2 - 15,56x_1x_3 + 28,22x_2x_3 - 21,48x_1x_2x_3, \text{ кВт} \quad (6.6)$$

$$NO_x = 3,027x_1 + 0,180x_2 + 0,927x_3 - 5,694x_1x_2 - 3,948x_1x_3 + 0,906x_2x_3 + 12,033x_1x_2x_3, \text{ мг/л} \quad (6.7)$$

$$CH_4 = 0,155x_1 + 0,038x_2 + 0,150x_3 + 0,630x_1x_2 + 0,738x_1x_3 + 0,104x_2x_3 - 0,078x_1x_2x_3, \text{ мг/л} \quad (6.8)$$

$$C = 7,966x_1 + 1,330x_2 + 3,900x_3 + 0,608x_1x_2 - 3,052x_1x_3 + 0,660x_2x_3 +$$

$$+ 28,878x_1x_2x_3, \text{ ед. по шкале Бошак} \quad (6.9)$$

$$CO = 0,756x_1 + 0,107x_2 + 0,387x_3 - 0,018x_1x_2 - 1,198x_1x_3 - 0,300x_2x_3 + 0,939x_1x_2x_3, \% \quad (6.10)$$

В табл. 6.4 представлены результаты статистического анализа и проверки адекватности полученных уравнений. Установлено, что процесс воспроизводим, а полученные уравнения неполого третьего порядка адекватны. Зависимости свойств трехкомпонентных смесей от их состава показаны изолиниями в бариецентрических координатах треугольными диаграммами состав-свойство на рис. 6.7...6.12. Изолинии построены графоаналитическим способом по методике, изложенной в разделе 2.2. Из анализа полученных диаграмм видно, что изменение соотношения компонентов оказывает значительное влияние на свойства смесей. Так, при изменении подачи в цилиндры дизеля 2Ч 10,5/12,0 метанола, ДТ с помощью системы двойной топливноподачи и воды на впуске в кодовых переменных от 0 до 1,0 мощность (рис. 6.7) изменяется от 6 до 22 кВт. При этом состав смеси для получения одного и того же значения мощности может быть весьма разнообразным. Например, значение мощности 18 кВт можно получить при составе смеси в точке а (ДТ - 0,7; М - 0,0; В - 0,3), в точке б (ДТ - 0,6; М - 0,2; В - 0,2), в точке в (ДТ - 0,3; М - 0,4; В - 0,3) и в точке г (ДТ - 0,0; М - 0,5; В - 0,5). Таким образом при замещении метанолом и водой ДТ можно сохранить это значение мощности, уменьшив расход ДТ до 0 (в кодовых переменных). Анализ другой диаграммы - для оксидов азота (рис. 6.8) показывает, что увеличение метанола и воды в смеси способствует снижению содержания NO_x в ОГ дизеля. Состав смеси, соответствующий выбросам оксидов азота в интервале от 0,75 до 1,00 мг/л (защитированный участок), также отличается большим разнообразием: в точке а (ДТ - 0,7; М - 0,0; В - 0,3), в точке б (ДТ - 0,4; М - 0,3; В - 0,3), в точке в (ДТ - 0,0; М - 0,5; В - 0,5) и в точке г (ДТ - 0,0; М - 1,0; В - 0,0).

Результаты опытов и значение дисперсий в точках при оптимизации подачи метанола непосредственно в КС и воды на впуске дробилки 24.10.5/12.0

Индекс отклика	Параметры										
	N_1	S_1^*	NO_x	S_2^*	C_{a+H}	S_3^*	C	S_4^*	CO	S_5^*	S_6^*
y_1	21,37	0,1593	3,027	0,0424	0,155	0,000163	7,96	0,0633	0,756	0,002460	7,96
y_2	0,48	0,0108	0,180	0,0021	0,038	0,000087	1,33	0,0652	0,107	0,000122	1,33
y_3	23,65	0,1495	0,927	0,0046	0,150	0,000326	9,90	0,0075	0,387	0,000598	9,90
y_4	15,22	0,1236	0,180	0,0021	0,229	0,000275	4,80	0,0400	0,427	0,000234	4,80
y_5	18,12	0,1164	0,990	0,0300	0,301	0,000343	5,17	0,0809	0,272	0,001659	5,17
y_6	18,62	0,2496	0,780	0,0171	0,122	0,000095	2,78	0,0258	0,172	0,000605	2,78
y_{12}	17,46	0,1177	0,853	0,0096	0,277	0,000157	5,27	0,0409	0,283	0,000138	5,27

Таблица 6.4.

Результаты статистического анализа и проверки адекватности полученных уравнений регрессии при оптимизации подачи метанола непосредственно в КС и воды на впуске дробилки 24.10.5/12.0

Параметры	G_y	G_x	S_y	S_x	Y_{max}	Y_{min}	Δy	ξ	t_{max}	t_{min}
N_1	0,2710	0,5612	0,1316	17,46	18,29	0,83	0,51	3,22	3,50	3,50
NO_x	0,4161	0,5612	0,01456	0,853	1,025	0,172	0,51	2,0086	2,3646	2,3646
CH_4	0,2372	0,5612	0,000207	0,277	0,302	0,024	0,51	2,3524	2,3646	2,3646
C	0,2499	0,5612	0,004624	5,27	5,62	0,35	0,51	2,3376	2,3646	2,3646
CO	0,4230	0,5612	0,000831	0,283	0,298	0,015	0,51	0,7341	2,3646	2,3646

Это говорит о том, что при одинаковом уровне содержания NO_x в ОГ можно также эффективно заменить метанолом и водой ДТ, снижая его подачу до 0 (в кодовых переменных).

При совместном взаимодействии метанола и ДТ, подаваемых непосредственно в КС, и воды, подаваемой на впуске, содержание сажи изменяется в широких пределах от 3,0 до 7,0 ед. по шкале Боша (рис. 7.9). Так же, как и в предыдущих случаях, изменяется в широких пределах состав смеси, соответствующий изолиниям равного выхода. Так в заштрихованном участке содержание в ОГ сажи менее 4,5 ед. по шкале Боша наблюдается при составе смесей в точке а (ДТ - 0,4; М - 0,0; В - 0,6), в точке б (ДТ - 0,3; М - 0,7; В - 0,0), в точке в (ДТ - 0,1; М - 0,6; В - 0,3) и в точке г (ДТ - 0,0; М - 0,6; В - 0,4). Из анализа этой диаграммы следует, что можно уменьшить подачу ДТ до 0 (в кодовых переменных) за счет замещения метанолом и водой, значительно снижая при этом содержание сажи в ОГ.

Аналогичное влияние изменения состава смеси наблюдается и для оксида углерода (рис. 6.10) - содержание СО в ОГ уменьшается с увеличением в смеси метанола и воды. При этом состав смеси в заштрихованном участке, соответствующем содержанию СО в ОГ менее 0,3%, может быть следующим: в точке а (ДТ - 0,5; М - 0,5; В - 0,0), в точке б (ДТ - 0,3; М - 0,0; В - 0,7), в точке в (ДТ - 0,0; М - 0,8; В - 0,2) и в точке г (ДТ - 0,0; М - 0,5; В - 0,5).

На содержание углеводородов в ОГ изменение состава смеси оказывает наиболее сложное влияние (рис. 6.11), т.е. увеличение в трехкомпонентной смеси метанола от 0 до 0,5 способствует увеличению содержания CH_4 в ОГ, а дальнейшее увеличение - снижению CH_4 в ОГ. Состав смеси, соответствующий содержанию CH_4 в ОГ менее 0,15 мг/л (заштрихованный участок) может быть таким: точка а (ДТ - 0,1; М - 0,0; В - 0,9), точка б (ДТ - 0,1; М - 0,3; В - 0,6),

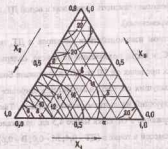


Рис. 6.7. Диаграмма состав-свойство для эффективной мощности в кодowych переменных при работе на метаноле с подпиткой воды на выпуске дилека 24 10,5/12,0

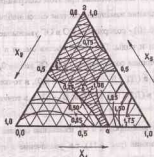


Рис. 6.8. Диаграмма состав-свойство для оксидов азота в кодowych переменных при работе на метаноле с подпиткой воды на выпуске дилека 24 10,5/12,0

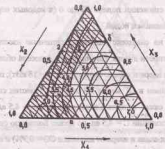


Рис. 6.9. Диаграмма состав-свойство для серы в кодowych переменных при работе на метаноле с подпиткой воды на выпуске дилека 24 10,5/12,0

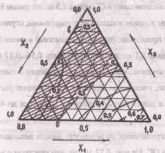


Рис. 6.10. Диаграмма состав-свойство для оксидов углерода в кодowych переменных при работе на метаноле с подпиткой воды на выпуске дилека 24 10,5/12,0

точка в (ДГ - 0,0; М - 0,5; В - 0,5) и точка г (ДГ - 0,0; М - 1,0; В - 0,0). Полученные данные говорят о том, что по осям углерода и углеводородам возможна работа дизеля при снижении подачи ДГ до 0 (в кодовых переменных) путем замещения его метанолом и водой.

На рис. 6.12 на симплекс нанесены граничные изолинии показателей мощности и токсичности дизеля. По мощности внесена область значений более 18 кВт (участок вверх и вправо от изолинии $N_e = 18$ кВт); по оксидам азота - область с содержанием в ОГ менее 1,0 мг/л NO_x (участок слева от изолинии $NO_x = 1,0$ мг/л); по саже - область с содержанием менее 4,5 ед. по шкале Боша (участок слева от изолинии $C = 4,5$ ед. по шкале Боша); по оксидам углерода - менее 0,3% (участок слева и вверх от изолинии $CO = 0,3\%$) и по углеводородам - менее 0,150 мг/л (участок слева от изолинии $CH_x = 0,150$ мг/л). Анализ совместно нанесенных на симплекс изолиний показывает, что наименьшее влияние на размеры области со значениями мощности выше 18 кВт оказывают оксиды азота и оксид углерода. Значительное воздействие на уменьшение области мощности выше 18 кВт оказывает сажа. При работе дизеля на высоких нагрузках область с содержанием сажи в ОГ менее 4,5 ед. по шкале Боша выражается небольшим участком в левом верхнем углу диаграммы, ограниченном точками а, б, в и г. При этом преобладающими компонентами в смеси должны быть метанол и вода, а подача ДГ не должна превышать 0,16...0,17 (в кодовых переменных) от общего состава смеси. Причем уменьшение в смеси количества воды и, соответственно, увеличение метанола способствуют росту мощности дизеля до 20...22 кВт и дальнейшему снижению дымности до 4,0 и менее ед. по шкале Боша.

Наибольшие ограничения на мощность дизеля накладывают требования по углеводородам в ОГ. На рис. 6.12 видно, что участком с мощностью выше 18 кВт и содержанием углеводородов в ОГ менее 0,150 мг/л остается маленький треугольник абд (двойная штриховка).

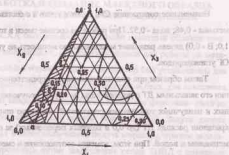


Рис. 6.11. Диаграмма состав-свойство для углеводородов в кодовых переменных при работе на метаноле с подкачей и воды на впуске дизеля 2Ч 10,5/12,0

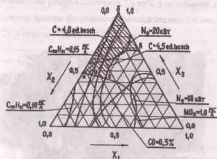
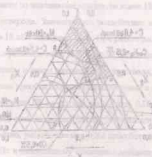


Рис. 6.12. Ограничения, накладываемые по мощностным и токсическим показателям на состав смеси в кодовых переменных при работе на метаноле с подкачей воды на впуске дизеля 2Ч 10,5/12,0

Наименьшее содержание CH_4 будет в точке а с составом смеси: ДТ - 0,0; метанол - 0,48; вода - 0,52. При работе на составе смеси в точке б (ДТ - 0,0; М - 1,0; В - 0,0) дизель развивает максимальную мощность не увеличивая выброс с ОГ углеводородов.

Таким образом при подаче метанола непосредственно в КС, воспламенению его запальным ДТ и добавке воды на впуске получение высоких мощностей и наилучших токсических показателей возможно при максимальном сокращении расхода ДТ (до 0,0 в кодовых переменных) за счет замещения его метанолом и водой. При этом, изменяя соотношение в смеси метанола и воды можно добиваться либо возрастания мощности (с увеличением количества метанола), либо еще некоторого снижения токсичности (с увеличением количества воды), жертвуя небольшим снижением мощности, оптимизируя таким образом эксплуатационные показатели тракторных дизелей.



7. РАЗРАБОТКА И СОЗДАНИЕ МАКЕТНОГО ОБРАЗЦА ТРАКТОРА Т-25А ДЛЯ РАБОТЫ НА МЕТАНОЛЕ

В Вятской ГСХА был разработан и создан макетный образец трактора Т-25А с системой питания, модернизированной для работы на метаноле с системой двойной топливоподдачи. На трактор был установлен два топливных насоса высокого давления, два топливных бака, два комплекта топливпроводов. В каждый цилиндр установлены две форсунки - одна из которых - штифтовая, служит для подачи запального ДТ. Запуск дизеля осуществлялся на ДТ а затем включалась подача метанола, причем запальная доза ДТ фиксировалась путем закрепления рейки ТНВД с помощью электромагнита и в процессе работы трактора не менялась. Регулирование нагрузки и частоты вращения осуществлялось с помощью изменения подачи метанола. Общий вид трактора Т-25А с системой питания, модернизированной для работы на метаноле, представлено на рис. 7.1. Расход метанола на номинальном режиме составил 7,5 кг/ч, а запального дизельного - 1,0 кг/ч. Трактор прошел функциональные испытания. Он выставлялся на ВДНХ СССР и отмечен бронзовой медалью.



Рис. 7.1. Общий вид трактора Т-25А с системой питания, модернизированной для работы на метаноле с системой двойной топливоподдачи

ЛИТЕРАТУРА

1. Воронцов Л.И., Харитонов Н.З. Охрана природы. - М.: Высшая школа, 1977. - 77 с.
2. Баниников А.Г., Рустамов А.К. Охрана природы. - М.: Колос, 1977. - 92 с.
3. Никитин Л.П., Новиков Ю.В., Зарубин Г.П. Научно-технический прогресс, природа и человек. - М.: Наука, 1977. - 200 с.
4. Шабал Л.М. О циркуляции канцерогенов в окружающей среде. - М.: Медицина, 1973. - 368 с.
5. Гетманец Г.В., Лиханов В.А. Социально-экологические проблемы автомобильного транспорта. - М.: Аспол, 1993. - 340 с.
6. Лиханов В.А., Сайкин А.М. Снижение токсичности автотракторных дизелей. - М.: Агропромиздат, 1991. - 208 с.
7. Лиханов В.А., Сайкин А.М. Снижение токсичности автотракторных дизелей. - 2-е изд., испр. и доп. - М.: Колос, 1994. - 224 с.
8. ГОСТ 17.2.1.01-76. Охрана природы. Атмосфера. Классификация выбросов по составу. - М.: Изд-во стандартов, 1984. - 4 с.
9. ГОСТ 17.2.1.02-76. Охрана природы. Атмосфера. Выбросы двигателей автомобилей, тракторов, самоходных сельскохозяйственных и строительно-дорожных машин. Термины и определения. - М.: Изд-во стандартов, 1980. - 8 с.
10. ГОСТ 17.2.1.03-84. Охрана природы. Атмосфера. Термины и определения контроля загрязнения. - М.: Изд-во стандартов, 1984. - 11 с.
11. ГОСТ 17.2.1.04-77. Охрана природы. Атмосфера. Источники и метеорологические факторы загрязнения, промышленные выбросы. Основные термины и определения. - М.: Изд-во стандартов, 1984. - 13 с.
12. ГОСТ 17.2.2.01-84. Охрана природы. Атмосфера. Дизели автомобильные. Дымность отработавших газов. Нормы и методы измерений. - М.: Изд-во стандартов, 1984. - 11 с.
13. ГОСТ 17.2.2.03-87. Охрана природы. Атмосфера. Нормы и методы измерений содержания окиси углерода и углеводородов в отработавших газах автомобилей с бензиновыми двигателями. Требования безопасности. - М.: Изд-во стандартов, 1987. - 6 с.
14. ГОСТ 17.2.3.02-78. Охрана природы. Атмосфера. Правила установления допустимых выбросов вредных веществ промышленными предприятиями. - М.: Изд-во стандартов, 1984. - 13 с.
15. ГОСТ 17.2.2.02-86. Охрана природы. Атмосфера. Нормы и методы измерения дымности отработавших газов тракторных и комбайновых дизелей. - М.: Изд-во стандартов, 1986. - 11 с.
16. ГОСТ 17.2.2.05-86. Охрана природы. Атмосфера. Нормы и методы измерения выбросов вредных веществ с отработавшими газами тракторных и комбайновых дизелей. - М.: Изд-во стандартов, 1986. - 13 с.

17. ГОСТ 21393 -75. Автомобили с дизелями. Дымность отработавших газов. Нормы и методы измерений. Требования безопасности. - М.: Изд-во стандартов, 1986. - 5 с.
18. Павлова А.П. Гигиеническая оценка условий труда трактористов и водителей в процессе ускоренного освоения скоростных сельскохозяйственных машин: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. - М., 1968. - 18 с.
19. Гусева С.В. Исследование и улучшение микроклимата в кабине зерноуборочного комбайна: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. - М., 1974. - 18 с.
20. Лиханов В.А., Попов В.М. Результаты эксплуатационных испытаний тракторов Т-25А с инженерно-техническими средствами снижения токсичности и дымности отработавших газов // Исследование рабочих процессов машин в растениеводстве: Межвуз. сб. науч. тр. - Пермь, 1982. - С. 72-79.
21. Лиханов В.А., Попов В.М. Снижение содержания токсичных компонентов в атмосферном воздухе при эксплуатации тракторов на животноводческих комплексах // Механизация процессов в животноводстве и кормопроизводстве: Межвуз. сб. науч. тр. - Пермь, 1983. - С. 70-72.
22. Лиханов В.А., Попов В.М. Снижение содержания токсичных компонентов в атмосферном воздухе при эксплуатации тракторов в складах минеральных удобрений // Механизация процессов в полеводстве: Сб. науч. тр. - Пермь, 1984. - С. 85-88.
23. Звонков В.А. Токсичность двигателей внутреннего сгорания. - М.: Машиностроение, 1973. - 199 с.
24. Смайлев В.И. Микроокисные дизели. - Л.: Машиностроение, 1972. - 186 с.
25. Жегалин О.И., Сайкин А.М., Френкель А.И. Методы снижения токсичности отработавших газов тракторных дизелей. - М.: ЦНИИЭИ-тракторсельхозмаш, 1976. - 30 с.
26. Демочка О.И., Секолов Ю.Я. Токсичность отработанных газов двигателей автотракторного типа и средства ее снижения. - М.: ЦНИИЭИ-тракторсельхозмаш, 1974. - 42 с.
27. Филиппович Т.Р., Кратко А.П. Пути снижения дымности и токсичности отработавших газов дизельных двигателей. - М.: НИИНавтопром, 1973. - 72 с.
28. Погорелов С.Д., Сайкин А.М., Френкель А.И. Методы снижения токсичности отработавших газов дизельных двигателей // Исследование эксплуатационных качеств сельскохозяйственных тракторов: Тр. Кишинев. с.х. ин-та. Кишинев, 1977. - С.60-66.
29. Ле Пера М.Е. Требования к топливам для двигателей // Нефть, газ и нефтехимия за рубежом. - 1982. - №1. - С.103-105.
30. Токсичность автотракторных двигателей и способы ее снижения / Н.П.Самойлов и др. - Казань: Изд-во Казанск. ун-та, 1997. - 170 с.

31. Чертков Я.Б. Моторные топлива. - Новосибирск: Наука, 1987. - 206 с.
32. Чертков Я.Б. Современные и перспективные реактивные и дизельные топлива. - М.: Химия, 1968. - 356 с.
33. Скотт У.М. Новые виды топлива для автомобильных дизелей // Перспективные автомобильные топлива: Пер. с англ. - М.: Наука, 1982. - С. 223-248.
34. Смаль Ф.В., Арсенов Е.Е. Перспективные топлива для автомобилей. - М.: Транспорт, 1979. - 151 с.
35. Обелянский А.М. Топливо и смазочные материалы. - М.: Высшая школа, 1982. - 208 с.
36. Абрамов С.А., Гладких В.А., Полов В.П. О работах в ФРГ по применению метанола в качестве моторного топлива // Двигателестроение. - 1983. - № 8. - С. 55-57.
37. Хачкин А.С. Применение спиртов в дизелях // Двигателестроение. - 1984. - № 8. - С. 30-34.
38. Лиханов В.А. Применение метанола в качестве топлива для дизелей за рубежом // Двигателестроение. - 1984. - № 10. - С. 55-57.
39. Heinrich Gerd, Prescher Karl Heinz, Finsterwalder Gerhard. Wasser und Methanolzusätze bei dieselmotorischer Verbrennung // MTZ. - 1984. - № 5. - S. 183-188.
40. Перспективные автомобильные топлива / Пер. с англ. - Под ред. Я.Б.Чертова. - М.: Транспорт, 1986. - 319 с.
41. Виттер А.Б., Абрамов С.А., Балакин В.И. Использование тяжелых нефтяных и альтернативных топлив в дизелях // Двигателестроение. - 1984. - № 7. - С. 32-34.
42. Метанол как топливо для транспортных двигателей / В.А.Звонов и др. - Харьков: Изд-во "Основа" при Харьк. ун-те, 1990. - 150 с.
43. Лоптев С.М., Мососов А.Ш., Розовский А.Я. Метанол: пути синтеза и использования. - М.: ГНТИ ВНИИЦ, 1984. - 47 с.
44. Терентьев А.Г., Тюков В.М., Смаль Ф.В. Моторные топлива из альтернативных сырьевых ресурсов. - М.: Химия, 1989. - 272 с.
45. Плотников С.А., Лунова В.В. Создание и применение стабильных метанола-топливных эмульсий в качестве топлива для дизелей // Двигателестроение. - 1990. - № 10. - С. 29-31.
46. Болотов А.К., Плотников С.А. Использование метанола-топливной эмульсии в дизелях // Диагностика, повышение эффективности и долговечности двигателей: Тез. докл. Всесоюз. семинара. - Ленинград-Пушкин, 1990. - С. 4-5.
47. Лиханов В.А., Плотников С.А. Создание стабильных метанола-топливных эмульсий // Научно-технический прогресс в химической технологии топлив и смазочных материалов: Тез. докл. Всесоюз. конф. - Днепрпетровск, 1990. - С. 28.

48. Болотов А.К., Плотников С.А. Влияние присадок на стабильность метанола-топливных эмульсий. - М.: ЦНИИЭИТракторосельхозмаш, 1989. - № 7. - С. 130.
49. Johnson R.T., Stoffer J.O. Performance of stabilized diesel fuels containing alcohols and water in single and multicylinder direct injection engines // SAE Techn. Pap. Ser.-1983. - № 830557. - P. 91-104.
50. Малов Р.В., Ю В.К., Ксенофонтов И.В. Некоторые особенности применения метанола в дизелях // Двигателестроение. - 1989. - № 8. - С. 30-31.
51. Малов Р.В., Ксенофонтов И.В. Кинетика воспламенения и горения бинарных спиртовых топлив в дизелях // Двигателестроение. - 1986. - № 3. - С. 55-57.
52. Pischinger F., Havenfith C., Finsterwalder G. Methanol-Direkteinspritzung bei Fahrzeugdieselmotoren // Automobiltechn. z. - 1979. - № 6. - S. 271-275.
53. Сучimoto С. и др. Исследование сгорания в дизельном двигателе путем подачи жидкого топлива во всасывающий патрубок // Тобу коге дайгаку кие. - 1981. - Сер. 4. - Т. 17. - С. 19-22.
54. Antonini A., Giadrossi A., Aniovi E. Metanol in Alternativ-Mischkraftstoffen für Dieselmotoren // MTZ. - 1983. - № 1. - S. 27-30.
55. Болотов А.К., Плотников С.А. О работе топливной системы дизеля на метанола-топливной эмульсии. - М.: ЦНИИЭИТракторосельхозмаш, 1990. - № 5. - С. 121.
56. Луканин В.Н., Махов В.З., Вильяквичас Г.П. Особенности воспламенения струи метанола в подкачиваемой метанола-воздушной смеси // Альтернативные топлива в двигателях внутреннего сгорания: Тез. докл. Всесоюз. науч.-техн. конф. - Киров, 1988. - С. 132-133.
57. Алексеев Д.К. Особенности процесса сгорания при использовании метанола в дизеле с комбинированным смешением // Альтернативные топлива в двигателях внутреннего сгорания: Тез. докл. Всесоюз. науч.-техн. конф. - Киров, 1988. - С. 134.
58. Малов Р.В., Ксенофонтов И.В., Ю В.К. Воспламенение и горение метанола-углеводородных смесей // Альтернативные топлива в двигателях внутреннего сгорания: Тез. докл. Всесоюз. науч.-техн. конф. - Киров, 1988. - С. 135.
59. Малов Р.В., Ксенофонтов И.В., Лихачев В.М. Работа четырехтактных дизелей на топливе с присадкой метанола // Альтернативные топлива в двигателях внутреннего сгорания: Тез. докл. Всесоюз. науч.-техн. конф. - Киров, 1988. - С. 136.
60. Ратькова М.Ю., Носенко Н.В. Разработка антикоррозионной и смазывающей присадки к метанольному топливу // Альтернативные топлива в двигателях внутреннего сгорания: Тез. докл. Всесоюз. науч.-техн. конф. - Киров, 1988. - С. 138.

61. Попов В.М. Зависимость показателей работы дизеля от способа подачи метанола в цилиндры // Альтернативные топлива в двигателях внутреннего сгорания: Тез. докл. Всесоюз. науч.-техн. конф. - Киров, 1988. - С. 142.
62. Попов В.М. Исследование рабочего процесса тракторного дизеля воздушного охлаждения при различных способах подачи метанола в цилиндры: Дис. ... канд. техн. наук. - Киров, 1986. - 207 с.
63. Плотников С.А. Разработка способов приготовления и использования метанола-топливной эмульсии в тракторных дизелях: Дис. ... канд. техн. наук. - Киров, 1991. - 168 с.
64. Adelman H. Alcohols in Diesel Engines // SAE Techn. Pap. Ser. - 1979. - № 790956. - 9 p.
65. Болотов А.К., Лиханов В.А., Плотников С.А. Влияние метанола-топливной эмульсии на токсичность отработавших газов и работу топливной аппаратуры дизеля // Научно-технический прогресс в химмотологии топлива и смазочных материалов: Тез. докл. Всесоюз. конф. - Днепродзержинск, 1990. - С. 27.
66. Лиханов В.А., Плотников С.А. Исследование мощностных и экономических показателей работы дизеля на метанола-топливной эмульсии // Рабочие процессы в ДВС с ограниченным отводом тепла: Тез. докл. Всесоюз. семинара. - Новосибирск, 1990. - С. 11.
67. Лиханов В.А., Плотников С.А. Применение метанола-топливной эмульсии для снижения токсичности отработавших газов дизеля // Рабочие процессы в ДВС с ограниченным отводом тепла: Тез. докл. Всесоюз. семинара. - Новосибирск, 1990. - С. 12.
68. Лиханов В.А. Основные направления исследований по применению метанола в автотракторных дизелях // Альтернативные топлива в двигателях внутреннего сгорания: Тез. докл. Всесоюз. науч.-техн. конф. - Киров, 1988. - С. 140.
69. Рязькова М.Ю., Лиханов В.А., Попов В.М. Испытания метанола с присадками на двигателе Д-21А1 // Альтернативные топлива в двигателях внутреннего сгорания: Тез. докл. Всесоюз. науч.-техн. конф. - Киров, 1988. - С. 139.
70. Исследование антидетонационных характеристик кислородосодержащих соединений // М.А.Таватаров, Е.А.Кантор, Х.Н.Зайнуллин, А.Т.Гильмутдинов // Химия и технология топлива и масел. - 1983. - № 12. - С. 16-17.
71. Исследование износа деталей двигателей на метаноле в процессе эксплуатации // Экспресс-информ. Поршневые и газотурбинные двигатели. - М.: ВИНТИ, 1983. - № 9. - С. 5-9.
72. Дернер М.О. Химические регуляторы горения моторных топлив. - М.: Химия, 1979. - 224 с.

73. Лукшо В.А., Шафрин Г.Г. Исследование особенностей работы двигателя на безметанольной смеси // Тр. НАМИ. - М., 1981. - С. 93-99.
74. Отборочные испытания моторных двигателей, работающих на метаноле // Экспресс-информ. Поршневые и газотурбинные двигатели. - М.: ВИНТИ, 1984. - № 21. - С. 6-8.
75. Синтетические топлива для получения энергии // Экспресс-информ. Поршневые и газотурбинные двигатели. - М. ВИНТИ, 1975. - № 2. - С. 1-12.
76. Смаль Ф.В. Метанол - топливо для автомобилей // Автомобильный транспорт. - 1978. - № 7. - С. 41-43.
77. Терещенко Г.А., Смаль Ф.В., Тюков В.М. Производство альтернативных моторных топлив и их применение на автомобильном транспорте. - М.: ЦНИИТЭНефтехим, 1985. - 89 с.
78. Шапкинова В.П., Патрахальцев Н.Н. Применение нетрадиционных топлив в дизелях. - М.: Изд-во УДН, 1986. - 56 с.
79. Barnes K.D. Effect of alcohols as supplemental fuel for turbocharged diesel engines // SAE Techn. Pap. Ser. - 1975. - № 750469. - 9 p.
80. Bernhardt W.E., Lee W. Engine performance and exhaust emission characteristics of a methanol-fuelled automobile // Future automotive fuels. - New-York/London. - 1977. - P. 214-234.
81. Browning L.H., Pefley R.K., Kinetic W. Quenching Methanol Flames with Applications to spark Ignition Engines // Paper presented at the SAE Passenger Car Meeting. - 1979. - June. - 12 p.
82. Branch M.C., Walfek R., Ishikawa N. Combustion of methanol and methanol blends in a stratified charge engine // Two Intersoc. Energy Convers. Eng. Conf. Proc. - 1976. - № 1. - P. 115-121.
83. Heinrich W. Entwicklung und Erprobung von Alkoholdraftstoffen für Nutzfahrerzeug-Dieselmotoren // MTZ - 1987. - № 3. - S. 91-98.
84. Возможности расширения ресурса дизельных топлив с применением легких синтетических углеводородов в качестве добавки / Шапкинова В.П. и др. // Двигателестроение. - 1986. - № 12. - С. 26-29.
85. Hizota T. Study of the methanol-reformed gas engine // ISAE Review. - 1981. - № 4. - P. 7-13.
86. Gardiner D.P., Bardon M.F. Gold starting Test on a Methanol Fuelled Spark Ignition Engine // SAE Techn. Pap. Ser. - 1983. - № 831175. - P. 11-15.
87. Gruden D., Hoschman G. Betriebsverhalten des thermodynamisch optimalen Porsche-(TOP)-Motors 924 bei Betrieb mit M 15 Kraftstoff // MTZ. - 1981. - № 4. - S. 133-137.
88. Decker Gerd, Menrod Holger. VW -Fahrung -Motor -Konzepte für Alkohol Kraftstoffe // MTZ. - 1982. - № 3. - S. 91-95.
89. Eklund E.E. State-of-the-Art Report on the Use of Alcohol in Diesel Engines // SAE Techn. Pap. Ser. - 1984. - № 840120. - 25 p.

90. Kamel M.M. Effects of fuel ignition improvers on diesel engine performance // SAE Techn. Pap. Ser. - 1984.-№ 840109. - 8 p.
91. Kikushi E., Kinitomo J., Morita J. Catalytic partial combustion and decomposition of methanol // Journal of Japan Petr. Inst. - 1980.- № 5. - P. 328-333.
92. Komijama K., Hashimoto J. Spark-Assisted Diesel for Multifuel Capability // SAE Techn. Pap. Ser. - 1981.- № 810072- 10 p.
93. König A., Ellinger K.W., Korbel K. Engine Operation of Partially dissociated Methanol // SAE Techn. Pap. Ser. - 1985.- № 850573.-15 p.
94. Korematsu K. Dual fuelled diesel engine with diesel fuel and reformed methanol // SAE Techn. Pap. Ser. - 1983.- № 831238.-P. 113-121.
95. Lamson A., Heavy D. Diesel Engine Operation on Unstabilized Methanol :Diesel Fuel Emissions // SAE Tech. Pap. Ser. - 1981.-№810346-1981.- 9 p.
96. La Russo J.A., Tabaczynski R.J. Combustion and emission characteristics of methanol, methanol-water and gasoline-methanol blends in a spark ignition engine // Two Intersoc Energy convers. Eng. Conf.- Lohdon, 1976.- № 1. - P. 122-132.
97. Lents H., Browning D. Alcohol Cold Starting: A Theoretical study // 18 IECEC, Orlando, 21-26 August, 1983.-Orlando, 1983.-P.586-591.
98. Marbach H.W., Frame E.A., Owens E.C. The effects of lubricant composition on SI engine wear with alcohol fuels // SAE Techn. Pap. Ser. - 1983.-№ 831702.-12 p.
99. Menrod H., Decker G., Davidson R.R. Performance and Emissions Characteristics of a Spark Ignition Engine Fueled with Dissociated and Steam-reformed Methanol // SAE Techn. Pap. Ser. - 1985.- № 852106.- 12 p.
100. Menrod H., Decker G., Loeck H. Alconol-Diesel Mischkraftstoffe // MTZ.- 1982.-№ 4. -S.168.
101. Mc Call D.M. Performance and emissions characteristics of a spark ignition engine fueled with dissociated and steamreformed methanol // SAE Techn. Pap. Ser. - 1985.-№ 852106.- 10 p.
102. Moses C.A. Experiments with Alcohol diesel fuel blends in compression-ignition engines // IV Int.Symp. on Alcohol fuels Techn., San Paulo, 5-8 October, 1980. -San Paulo, 1980.-P. 85-92.
103. Nautiyal P.C., Zvonov V.A., Pal M. Wear studies on an automotive gasoline engine using methanol gasoline blends // SAE Techn. Pap. Ser. - 1982.-№ 821186.- 10 p.
104. Neitz A., Chmela F. Resulte of MAN-FM diesel engines operating on straight alcohol fuels // IV Int.Symp. on Alcohol fuels Techn., San Paulo, 5-8 October, 1980. -San Paulo, 1980.-P. 139-146.
105. Palmer F.H., Lanf G.J. Fundamental Volability/driveability characteristics of oxygenated gasolines at high underbonnet temperatures // SAE Techn. Pap. Ser. - 1983.- № 831705.- 13 p.
106. Perflay R.K., Agelman H.G. Utilisation of pure alcohol fuels in a diesel engine by spark ignition // IV Int. Symp. on Alcohol Fuels Techn., San Paulo, 5-8 October, 1980.- San Paulo, 1980. -P. 84-92.
107. Pundir B.P., Zvonov V.A., Gupta C.P. In-cylinder charge non-homo-geneity and cyclic variation in SI-engines with alcohol fuels // Proceedings of the Fifth International Symposium on Alcohol Fuel Technology, Auckland, New Zealand, May, 1982.- New Zealand, 1982.-P.28-36.
108. Pundir B.P., Zvonov V.A., Gupta C.P. Determination of incylinder charge non-homogeneity for SI engine // Proc. Seventh National Conference on IC Engines and Combustion, India, Srinivasnagar, Jan. 1982.-Srinivasnagar, 1982.-P.6-6.08.
109. Rao K. Subba, Ganesan V. Gopalakrishnan and Murthy B.S. Mixture maldistribution and aldehyde emission in alcohol fueled SI engine // SAE Techn. Pap. Ser. - 1983.- № 830511.- 10 p.
110. Shadis William J., Mc Callum Peter W. Gasohol as a means to eco-nomize vehicle fuel // SAE Techn. Pap. Ser. - 1980.- № 800889.- 8 p.
111. Toshiyuki Seko, Methanol diesel engine and its application to a diesel vehicle // SAE Techn. Pap. Ser. - 1984.- № 840116.- 8 p.
112. Finegold J.G. Dissociation methanol as a consumable hydride for automobiles and gas turbines // Hydrogen Energy, Progr. IV Proc. World Hydrogen Energy Conf. , Pasadena, Calif., 13-17 June, 1982.-Pasaden, Calif, 1982.- Vol. 3.-P.48-52.
113. Fleming R.D., Chamberlain T.W. Methanol as a automotive fuel. Part I. Straight Methanol // SAE Techn. Pap. Ser. - 1975.- № 750121.- 11 p.
114. Furubama S. Development of a liquid hydrogen car // 1st World Hydrogen Energy Conf. Proc. Miami Beach, Florida, 1-3 March, 1976.- Miami Beach, Florida, 1976.- Vol. 3.- P. 6, 27-58.
115. Hardenberg H.O. Thermodynamische Betrachtungen zum Mercedes-Bens Methanol-Gasmotor-Konzept // Automob.-Ind.- 1983.-№3. -P. 297-301.
116. Harrenstien M.S., Rhee K.T., Ault R.R. Determination of individual aldehyde concentrations in the exhaust of a spark ignition engine fueled on alcohol/gasoline blends // SAE Techn. Pap. Ser. - 1979.- № 790952.- P. 1-10.
117. Extended performance of alcoholifamigation in diesel engines through different multipoint alcohol injection timing cycles // D. Savagel, R.A. White, S.Cole, G.Pritschett // SAE Techn. Pap. Ser. - 1986.- № 861580.-P. 11.
118. Совершенствование показателей дизелей кусторического подвижного состава // Ю.П.Алейников, Е.И.Боксенок, Р.В.Малов, С.В.Никонов // Двигателестроение.-1984.- № 7. -С. 53-55.
119. Кутенев В.Ф., Свиридов Ю.Б. Экологические проблемы автомобильного двигателя и путь оптимального решения их // Двигателестроение.-1990.-С.55-62.
120. Свиридов Ю.Б., Тихонов Ю.В. Проблемы смесеобразования и

сгорания в двигателях с внешним смесеобразованием // Двигателестроение.-1988.-№10.-С.6-8.

121. Свиридов Ю.Б., Дроздовская Л.Ю. Новый способ высокоэффективного теплоотвода к текущим жидким топливам многофракционного состава (моторным топливам) // Двигателестроение.-1987.-№10.-С.3-7.

122. Свиридов Ю.Б., Скворцов В.А. Гомогенизация топливовоздушной смеси - основа прогресса ДВС // Двигателестроение.-1982.-№1.-С.3-7.

123. Свиридов Ю.Б., Скворцов В.А. Гомогенизация топливовоздушной смеси - основа прогресса ДВС (продолжение) // Двигателестроение.-1982.-№2.-С.3-6.

124. Свиридов Ю.Б. Смесеобразование и сгорание в дизелях. Л.:Машиностроение, 1972.-224 с.

125. Свиридов Ю.Б., Мильвинский Л.В., Вихерт М.М. Топливо к топливopодача автотракторных дизелей. - Л.:Машиностроение, 1979.-248 с.

126. Семенов Н.Н. Цепные реакции. - Л.:ОНТИ, Госхимтехиздат, 1934. -555 с.

127. Семенов Н.Н. Развитие теории цепных реакций и теплового воспламенения. - М.:Знание, 1969.-95 с.

128. Семенов Н.Н. О некоторых проблемах химической кинетики и реакционной способности. - М.:Изд-во АН СССР, 1958.-685 с.

129. Кондратьев В.Н. Свободные радикалы - активная форма вещества. - М.:Изд-во АН СССР, 1960. - 54 с.

130. Кондратьев В.Н., Никитин Е.Е. Кинетика и механизм газофазных реакций. - М.:Наука, 1974.-558 с.

131. Соколик А.С. Самовоспламенение, пламя и детонация в газах. - М.:Изд-во АН СССР, 1960.-427 с.

132. Малов Р.В. Механизм воспламенения низкопептановых дизельных топлив // Автомобильная промышленность.-1994.-№10.-С.11-14.

133. Прошкин В.И. О химических превращениях в углеводородных топливах при сгорании в дизелях // Двигателестроение.-1990.-№2.-С.58-59.

134. Брозе Д.Д. Сгорание в поршневых двигателях. - М.:Машиностроение. - 1969. - 247 с.

135. Иванченко Н.Н., Семенов Б.Н., Соколов В.С. Рабочий процесс дизелей с камерой в поршне. - Л.:Машиностроение, 1972. - 228 с.

136. Мелькумов Т.А. Теория быстрогоходного двигателя с воспламенением от сжатия. - М.:Оборонгиз, 1953. - 407 с.

137. Петриченко Р.М., Опосовский В.В. Рабочие процессы поршневых машин. - М.:Машиностроение, 1972. - 167 с.

138. Рикардо Г.Р. Быстроходные двигатели внутреннего сгорания. - М.:Машигиз, 1960. - 409 с.

139. Вильямс Ф.А. Теория горения. - М.: Наука, 1971. - 615 с.

140. Иевлев В.М. Турбулентное движение высокотемпературных сплошных сред. - М.: Наука, 1975. - 256 с.

141. Кондратьев В.Н. Кинетика химических газовых реакций. - М.:Изд-во АН СССР, 1958. - 688 с.

142. Смайлс В.И. Теоретические и экспериментальные основы создания малотоксичных дизелей: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук.-Л., 1988.-43 с.

143. Гуреев А.А., Камфер Г.М. Испаряемое топливо для поршневых двигателей. - М.:Химия, 1982. - 264 с.

144. Камфер Г.М., Назаров В.П., Аднан И.Ш. Расчет периода задержки воспламенения в дизелях с объемно-пристеночным смесеобразованием // Рабочие процессы автотракторных двигателей и их агрегатов: Сб. науч. тр. МАДИ. - М., 1983. - С. 20-29.

145. Аднан И.Ш., Камфер Г.М., Луканин В.Н. Расчет периода задержки воспламенения при сгорании топлива различного состава // Рабочие процессы и конструкция автотракторных двигателей внутреннего сгорания: Сб. науч. тр. МАДИ. - М., 1984. - С. 25-29.

146. Аднан И.Ш., Камфер Г.М., Луканин В.Н. Расчет периода задержки воспламенения в условиях двухфазного воспламенения // Совершенствование автотракторных двигателей внутреннего сгорания: Сб. науч. тр. МАДИ.- М., 1985. - С. 10-19.

147. Иващенко Н.А., Горбунова Н.А. Методика и результаты идентификации математической модели рабочего процесса дизеля // Двигателестроение. - 1989. - № 5. - С. 13-15.

148. Иващенко Н.А., Горбунова Н.А. Методика и результаты математической оптимизации рабочего процесса тепловозного дизеля // Двигателестроение. - 1989. - № 5. - С. 10-12.

149. Упрощенная математическая модель выгорания топлива в цилиндре дизеля / В.А.Кудеялов, Р.М.Петриченко, В.Н.Степанов, С.Н.Уваров // Двигателестроение. - 1988. - № 8. - С. 6-8.

150. Разлейнев Н.Ф., Филипповский А.И. Математическая модель процесса сгорания в дизеле со струйным смесеобразованием // Двигателестроение. - 1990. - № 7. - С. 52-56.

151. Камфер Г.М., Семенов В.Н. Ориентация топливно-воздушной смеси при различной геометрии КС дизелей с преимущественно объемным смесеобразованием // Двигателестроение. - 1985. - № 12. - С. 48-51.

152. Гальговский В.Р. Оптимизация отношения хода поршня к диаметру цилиндра и размеров камеры сгорания дизеля с непосредственным впрыскиванием. Ч. I. Управляющие факторы // Двигателестроение. - 1990. - № 3. - С. 3-8.

153. Олиничов В.И. Метод расчета продолжительности задержки воспламенения топлива с учетом влияния конструктивных факторов // Двигателестроение. - 1990. - № 3. - С. 17-18.

154. Гальговский В.Р. Оптимизация отношения хода поршня к диа-

- метру цилиндра и размеров камеры сгорания дизеля с непосредственным впрыскиванием. Ч. П. Формирование индикаторного и эффективного КПД при $n = const$ // Двигателестроение. - 1990. - № 4. - С. 5-10, 16.
155. Одинцов В.И. Метод расчета продолжительности процесса сгорания в мало- и среднеоборотных ДВС с учетом влияния конструктивных факторов // Двигателестроение. - 1990. - № 4. - С. 27, 38.
156. Комплексное влияние регулировочных параметров топливной аппаратуры на основные показатели работы тракторных дизелей / А.В. Николаенко, В.Н. Ложкин, В.А. Долгушин, А.И. Фомичев // Двигателестроение. - 1990. - № 4. - С. 28-30.
157. Смайлес В.И., Быков В.Ю. Оптимизация экономических и экологических показателей дизеля ЧН 21/21 при форсировании по среднему эффективному давлению // Двигателестроение. - 1990. - № 4. - С. 45-46.
158. Камфер Г.М., Семенов В.Н. Анализ взаимосвязи диаметра камеры сгорания и интенсивности движения воздушного заряда в дизеле // Двигателестроение. - 1983. - № 10. - С. 3-5.
159. Удельный расход топлива дизеля с камерой в поршне при расчетной ориентации топливных струй / Г.М. Камфер, Д.И. Злотский, Н.А. Лукин, В.Н. Семенов // Двигателестроение. - 1987. - № 8. - С. 8-10.
160. Камфер Г.М., Семенов В.Н., Амбарцумян Г.В. Взаимосвязь движения воздушного заряда и ориентации топливных струй в дизелях // Повышение эффективности работы автомобильных и тракторных двигателей: Сбор. соч. МАДИ. - М., 1988. - С. 23-36.
161. Камфер Г.М. Комплексный показатель смесеобразования для дизелей с камерой в поршне // Двигателестроение. - 1986. - № 4. - С. 1-6.
162. Камфер Г.М. Взаимосвязь параметров рабочего цикла дизеля с показателями качества топлива // Двигателестроение. - 1987. - № 8. - С. 30...33.
163. Мельников С.В., Алешкин В.Р., Рошин П.М. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов. - Л.: Колос, 1980. - 168 с.
164. Ахназарова С.Л., Кафаров В.В. Оптимизация эксперимента в химии и химической технологии. - М.: Высшая школа, 1978. - 319 с.
165. Ахназарова С.Л., Кафаров В.В. Методы оптимизации эксперимента в химической технологии. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Высшая школа, 1985. - 327 с.
166. Методы планирования многофакторных экспериментов в двигателестроении / М.Н. Овсянников, В.А. Петухов, М.Ф. Усень, И.Л. Шагалов // Двигателестроение. - 1979. - № 9. - С. 5-7.
167. Гиринович В.Е., Френкель А.И. Опыт применения математической теории планирования эксперимента при снятии токсичных характеристик дизелей // Тракторы и сельхозмашины. - 1977. - № 3. - С. 12-14.
168. Звонов В.А., Фурса В.В. Применение метода математического планирования эксперимента для оценки токсичности двигателя // Двигатели внутреннего сгорания. - Харьков, 1973. - Вып. 17. - С. 99-104.
169. Рафелес-Ламарка Э.Э., Звонов В.А., Фурса В.В. Математическое планирование экспериментального исследования двигателей внутреннего сгорания // Двигатели внутреннего сгорания. - Харьков, 1972. - Вып. 16. - С. 29-34.
170. Мерзиевский В.В. Влияние управления фазами топливоподачи на токсические показатели дизеля Д-37Е // Двигателестроение. - 1979. - № 12. - С. 16-18.
171. Чемлева Т.А., Михешина Н.Г. Применение симплексо-решетчатого планирования при исследовании диаграмм состав-свойство // Новые идеи в планировании эксперимента. - М., 1969. - С. 191-209.
172. Пен Р.З., Менчер Э.М. Статистические методы в целлюлозно-бумажном производстве. - М.: Лесная промышленность, 1973. - 120 с.
173. Лыханов В.А. Планирование эксперимента при изучении диаграмм состав-свойство для оценки токсичности отработавших газов дизелей // Тракторы и сельхозмашины. - 1979. - № 12. - С. 10-13.
174. Оптимизация параллельной работы дизель-генераторов методом планирования эксперимента / Кузкин Л.И. и др. // Судовые энергетические установки. - М.: ЦРИА Морфлот, 1977. - С. 106-110.
175. Петрич В.Д., Смирнов В.Н., Усень М.Ф. Решение задач диагностики и оптимизации регуляторов дизель-генераторов с помощью методов планирования активных экспериментов // Применение методов планирования экспериментов в судовой энергетике. - Л.: Судостроение, 1978. - С. 52-56.
176. Залевский В.Н., Кайдалов А.Л. Планирование экспериментов при исследовании предельного состояния ЦПГ дизеля // Применение методов планирования экспериментов в судовой энергетике. - Л.: Судостроение, 1978. - С. 92-99.
177. Канарчук В.Е. Долговечность и износ двигателей при динамических режимах работы. - Киев: Наукова думка, 1978. - 256 с.
178. Яхин Э.А., Минкутенко Ю.А. Исследование систем смазки методом планирования эксперимента / Применение методов планирования экспериментов в судовой энергетике. - Л.: Судостроение, 1978. - С. 105-112.
179. Солодов В.С. Применение методов планирования эксперимента для математического представления характеристик энергетических комплексов // Применение методов планирования экспериментов в судовой энергетике. - Л.: Судостроение, 1978. - С. 63-70.
180. Баскаков Л.В. и др. Исследование и оценка точности идентификации энергетических установок на ЦВМ методами пассивного эксперимента // Применение методов планирования экспериментов в судовой энергетике. - Л.: Судостроение, 1978. - С. 123-127.

181. Применение многофакторного эксперимента при анализе процесса сгорания / А.А.Мандельштам и др. // Автомобильная промышленность, 1976. - № 5. - С. 4-6.
182. Математическое планирование экспериментального исследования ДВС / А.А.Швед, В.Д.Петрич, В.М.Борисов и др. // Автомобильная промышленность, 1976. - № 4. - С. 6-8.
183. Прохоров В.С. Применение метода планирования активных экспериментов для оценки влияния уровней температур охлаждающей жидкости, смазочного масла и наддувного воздуха на показатели работы двигателя / Применение методов планирования экспериментов в судовой энергетике. - Л.: Судостроение, 1978. - С. 100-104.
184. Самсонов Л.А. Использование метода планирования экспериментов в математических моделях рабочих процессов судовых двигателей // Двигателестроение, 1979. - № 5. - С. 45-46.
185. Кафаров В.В. Методы кибернетики в химии и химической технологии. - М.: Химия, 1976. - 464 с.
186. Налимов В.В., Чернова Н.А. Статистические методы планирования экстремальных экспериментов. - М.: Наука, 1965. - 340 с.
187. Налимов В.В. Теория эксперимента. - М.: Наука, 1976. - 208 с.
188. Налимов В.В., Голикова Т.И. Логические основания планирования эксперимента. - М.: Наука, 1976. - 128 с.
189. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. - М.: Наука, 1976. - 279 с.
190. Хакс Ч. Основные принципы планирования эксперимента. - М.: Мир, 1967. - 406 с.
191. Маркова Е.В., Лясенков А.Н. Планирование эксперимента в условиях неоднородностей. - М.: Наука, 1973. - 219 с.
192. Горский В.Г., Адлер Ю.П. Планирование промышленных экспериментов (модели статист.). - М.: Металлургия, 1974. - 264 с.
193. Федоров В.В. Теория оптимального эксперимента. - М.: Наука, 1971. - 312 с.
194. ГОСТ 18509-88. Двигатели тракторные и комбайновые. Методы стендовых испытаний. - М.: Изд-во стандартов, 1988. - 58 с.
195. ГОСТ 20000-82. Двигатели тракторные в комбайновые. Основные параметры. Общие технические требования. - М.: Изд-во стандартов, 1983. - 13 с.
196. ОСТ 23.1.440-76. Двигатели тракторные и комбайновые. Выбросы вредных веществ с отработавшими газами. Нормы и методы определения. - М.: ОНТИ-НАТИ, 1976. - 8 с.
197. ОСТ -23.1.441-76. Двигатели тракторные и комбайновые. Дымность отработавших газов. Нормы и методы определения. - М.: ОНТИ-НАТИ, 1976. - 8 с.

198. Лазурько В.П., Кудрявцев В.А. Программа обработки индикаторных диаграмм дизелей на алгоритмическом языке "Базисный Фортран" // Тр. ЦНИДИ. - 1975. - Вып. 68. - С.38-69.
199. Единая система электронных вычислительных машин. Операционная система ФОРТРАН IV. Описание языка. Ц 51.804.001 - 01Д18. - М., 1979. - 166 с.
200. Методические указания по определению вредных веществ в отработавших газах тракторных и комбайновых дизелей. - М.: ЦНИИЛД, 1977. - 38 с.
201. Лиханов В.А. Улучшение эксплуатационных показателей тракторных дизелей путем применения альтернативных топлив: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук. - С.Петербург-Пушкин, 1999. - 42 с.
202. Лиханов В.А. Улучшение эксплуатационных показателей тракторных дизелей путем применения альтернативных топлив: Дис. ... д-ра техн. наук. - Киров, 1999. - 589 с.
203. Болотов А.К., Лиханов В.А., Попов В.М. Применение альтернативных топлив для снижения токсичности отработавших газов дизелей // Защита воздушного бассейна от загрязнения токсическими выбросами транспортных средств: Тез. докл. Весенней науч.-техн. конф. - Харьков, 1981. - С. 95.
204. Исследование возможности использования метанола на выпуске для снижения токсичности и дымности отработавших газов на дизелях с.х. тракторов класса 6 кН: Отчет о НИР / Киров. с.х. ин-т; Исполн. В.М.Попов, В.А.Лиханов, А.А.Самоделькин. - №ГР 0182.1001932; Инв. № 0285.0035399. - Киров, 1984. - 47 с.
205. Лиханов В.А., Попов В.М. Опыт подачи метанола на выпуске дизеля // Двигателестроение. - 1986. - № 4. - С. 47-51.
206. Лиханов В.А., Попов В.М. Применение планирования эксперимента для исследования подачи метанола на выпуске дизеля // Двигателестроение. - 1986. - № 7. - С. 43-47.
207. Исследование совместного влияния подачи метанола и воды на выпуске дизеля Д-21А1 трактора класса 6 кН на мощностные и токсические показатели на основе теории планирования эксперимента: Отчет о НИР / Киров. с.х. ин-т; Исполн. В.М.Попов, В.А.Лиханов. - №ГР 018.21001932; Инв. № 0286.0051191. - Киров, 1985. - 38 с.
208. Лиханов В.А., Попов В.М. Работа дизеля на метаноле с двойной системой топливopодaчки // Двигателестроение. - 1986. - № 8. - С. 47-50.
209. Исследование показателей токсичности и дымности отработавших газов дизеля с.х. трактора класса 0,6 при работе на метаноле с двойной системой топливopодaчки: Отчет о НИР / Киров. с.х. ин-т; Исполн. В.М.Попов, В.А.Лиханов. - №ГР 0182.1001932; Инв. № 0288.0058959. - Киров, 1986. - 55 с.

210. Оптимизация рабочих параметров дизеля по токсичности дымности ОГ с двойной системой топливозадачи на основе симплексо-решетчатого планирования: Отчет о НИР / Киров. с.х. ин-т; Исполн. В.М.Попов, В.А.Лиханов.-МГР 0182.1001932; Ина. № 0288.0058958. - Киров, 1987. - 25 с.

211. Разработка стабилизаторов и методов исследования эмульсий для топлив; ТЭД по НИР / ВНИИПАВ; руковод. Б.Е.Чистяков. -МГР 0180.0024424; Ина. № 0284.0036397.-Щебекино, 1984.-52 с.

212. Лиханов В.А., Плотников С.А. Улучшение метано-топливных эмульсий для использования в тракторных дизелях // Двигателестроение.-1994. -С. 74, 35.

213. А.с.1731973 СССР, МКИ F 02 M 43/00. Топливная система многотопливного дизеля / А.К.Болотов, В.А.Лиханов, С.А.Плотников (СССР).-З.с.: ил. 3.

214. А.с.7009125 СССР, МКИ F 02D 19/06. Система регулирования газодизеля / В.А.Лиханов, В.М.Попов, С.А.Плотников, М.Н.Хлыбов (СССР).-З.с.: ил. 1.

215. А.с. 1415762 СССР, МКИ С 10L/41.Топливная композиция / М.Ю.Ратькова, Н.В.Носенко, В.М.Попов, В.А.Лиханов, А.С.Руаков (СССР).- 4 с.: ил.

216. А.с. 1728290 СССР, МКИ С 10L 1/32.Топливная эмульсия / В.А.Лиханов, С.А.Плотников (СССР).-3 с.: табл.

217. Лиханов В.А., Плотников С.А. Особенности процесса старения метано-топливной эмульсии в тракторном дизеле // Двигателестроение.-1996.-№1.- С.26-28.

218. Лиханов В.А., Плотников С.А. Модернизация системы топливозадачи тракторного дизеля, работающего на метано-топливной эмульсии // Двигателестроение.-1996.-№2.- С.33-35.

219. Пат. 2119078 РФ, МКИ F 02 D 19/06, F 02 M 21/02, F 02 B 69/04. Система регулирования газодизеля / С.А.Плотников, В.А.Лиханов, В.В.Наврозов, А.В.Сычев (РФ) - 4 с.: ил.2., табл.

220. Лерман Е.Ю., Гладков О.В. Высококонцентрированные водо-топливные эмульсии - эффективное средство улучшения экологических показателей легких быстроходных дизелей // Двигателестроение. - 1986. - №10. - С. 35-37.

221. Ставров А.П. и др. Использование газовых конденсатов Западной Сибири в качестве топлива для дизелей // Химия и технология топлив и масел. - 1979. - №5. - С. 34-36.

222. Ребиндер П.А. Поверхностные явления в дисперсных системах. Коллоидная химия. Избранные труды. - М.: Наука, 1978. - 368 с.

223. Иванов В.М. Топливные эмульсии. - М.: Изд-во АН СССР, 1962. - 301 с.

224. Абрамзон А.А. Поверхностно-активные вещества. Свойства и применение. - 2-е изд., перераб. и доп. - Л.: Химия, 1981. - 304 с.

225. Сисин В.А. Установка для приготовления водо-топливной эмульсии. // Речной транспорт. - 1984. - № 10. - С. 32-33.

226. Болотов А.К., Плотников С.А. Качественный анализ условий применения спирто-топливных смесей // Роль научных исследований в развитии сельскохозяйственного производства Кировской области: Сб. науч.тр. КСХИ - Киров. - 1991. - С. 74-79.

227. Пат. 2044908 РФ, МКИ F 02 D 1/04, 1/10. Система регулирования многотопливного дизеля / А.К.Болотов, С.А.Плотников (РФ) - 4 с.: ил.

228. Пат. 2100639 РФ, МКИ F 02 M 59/00, 59/44. Пульвер топливного наоса высокого давления / А.К.Болотов, С.А.Плотников (РФ) - 3 с.: ил.2.

229. Болотов А.К., Камфер Г.М., Плотников С.А. Расчетная оценка цетановых чисел спирто-топливных смесей //Улучшение показателей автомобильных и тракторных двигателей: Тр. МАДИ. - М., 1990. - С. 59-64.

230. Безмоторный лабораторный метод определения цетанового числа дизельного топлива / В.С.Азев, В.М.Туголуков, А.А.Кукушкин, С.М.Лявшин // Химия и технология топлив и масел.- 1978. - № 1. - С. 42-44.

231. Зонгаг Г., Штрэнге К. Коагуляция и устойчивость дисперсных систем. - Л.: Химия, - 1973. - 152 с.

232. Лиханов В.А., Плотников С.А. Применение метано-топливных эмульсий в тракторных дизелях.- Киров: НИИСХ Северо-Востока, - 2000. - 96 с.

Таблица П. 1.1

Топливо	n , мин	$\rho_{\text{ж}}$, г/см ³	$\theta_{\text{жж}}$, градус	$\theta_{\text{жк}}$, градус	$\delta_{\text{жж}}$	ЦЧ	К _{тп}	A _ж	$\varphi_{\text{жж}}$, градус	$\varphi_{\text{жк}}$, град	$\varphi_{\text{жж}}$, мм	L _ж	α_r	α_l	K ₀
ДТ	1400	0,81	30	0,113	45	12,325	0,5548	35,0	698,8	14,350	1,71	3,74	0,057		
	1800	0,81	30	0,113	45	12,325	0,5548	36,0	717,6	14,350	1,70	3,80	0,053		
	1800	0,81	30	0,116	41	12,310	0,6080	35,4	772	13,567	1,71	3,79	0,055		
МТЭ, 10%	1400	0,8113	30	0,121	37	12,305	0,6736	35,8	852,1	12,784	1,71	3,83	0,053		
	1800	0,8113	30	0,121	37	12,305	0,6736	36,8	866,7	12,784	1,70	3,88	0,049		
	1800	0,812	30	0,131	33	12,294	0,7546	36,2	911	12,000	1,71	3,87	0,051		
МТЭ, 30%	1400	0,812	30	0,131	33	12,204	0,7546	37,1	926	12,000	1,70	3,92	0,047		
	1800	0,812	30	0,131	33	12,204	0,7546	37,1	926	12,000	1,70	3,92	0,047		

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Расчетные данные по определению периода задержки воспламенения при работе дизеля 2Ч 10,5/12,0 на метано-топливных эмульсиях различного состава

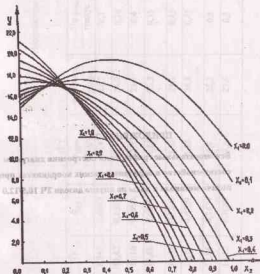


Рис. 11.2.1. Вспомогательный график для построения диаграммы состав-свойство в барицентрических координатах для показателя эффективной мощности дизеля 2Ч 10,5/12,0 при подаче метанола и воды на впуске

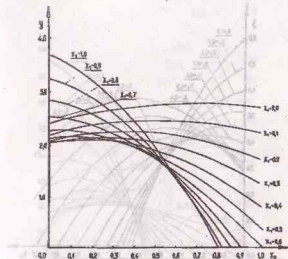


Рис. 11.2.2. Вспомогательный график для построения диаграммы состав-свойство в барицентрических координатах для показателя содержания оксидов азота в ОГ дизеля 2Ч 10,5/12,0 при подаче метанола и воды на впуске

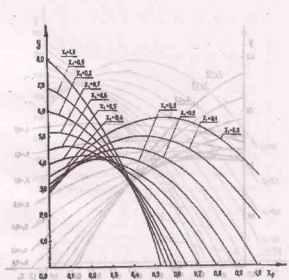


Рис. П.2.3. Вспомогательный график для построения диаграммы состав-свойство в барицентрических координатах для показателя содержания сажи в ОГ дизеля 2Ч 10,5/12,0 при подаче метанола и воды на впуске

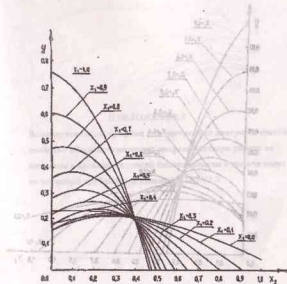


Рис. П.2.4. Вспомогательный график для построения диаграммы состав-свойство в барицентрических координатах для показателя содержания оксида углерода в ОГ дизеля 2Ч 10,5/12,0 при подаче метанола и воды на впуске

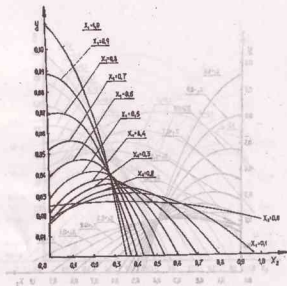


Рис. 11.2.5. Вспомогательный график для построения диаграмм состав-свойство в барицентрических координатах для показателя содержания углеводородов в ОГ дизеля 2Ч 10/12,0 при подаче метанола и воды на впуске



ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Вспомогательные графики для построения диаграмм состав-свойство в барицентрических координатах при работе на метаноле с двойной системой топливоподачи и подаче воды во впускной трубопровод дизеля 2Ч 10,5/12,0

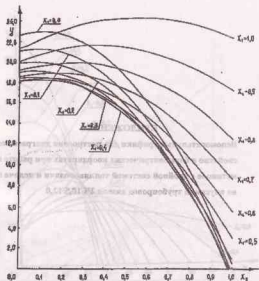


Рис. П.3.1. Вспомогательный график для построения диаграммы состав-свойство в барицентрических координатах для показателя эффективной мощности дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с двойной системой топливоподачи и подаче воды во впускной трубопровод

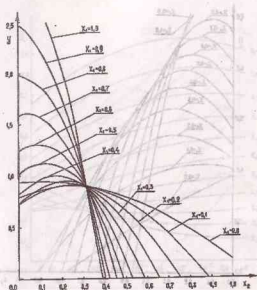


Рис. П.3.2. Вспомогательный график для построения диаграммы состав-свойство в барицентрических координатах для показателя содержания оксидов азота в ОГ дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с двойной системой топливоподачи и подаче воды во впускной трубопровод

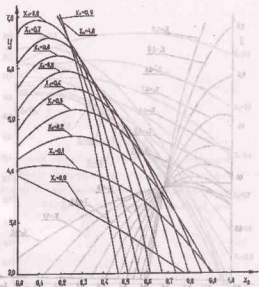


Рис. П.3.3. Вспомогательный график для построения диаграммы состав-свойство в барицентрических координатах для показателя содержания сажи в ОГ дизеля 24 10,5/12,0 при работе на метаноле с двойной системой топливоподачи и подаче воды по впускной трубопровод

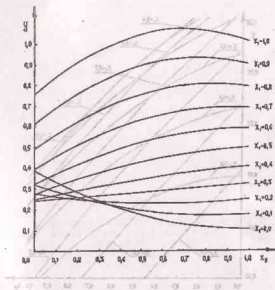


Рис. П.3.4. Вспомогательный график для построения диаграммы состав-свойство в барицентрических координатах для показателя содержания оксида углерода в ОГ дизеля 24 10,5/12,0 при работе на метаноле с двойной системой топливоподачи и подаче воды по впускной трубопровод



Лиханов Виталий Анатольевич

**СПИЖЕНИЕ ТОКСИЧНОСТИ И УЛУЧШЕНИЕ
ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ
ТРАКТОРНЫХ ДИЗЕЛЕЙ
ПУТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТАНОЛА**

Лицензия ЛР № 010119 от 23.04.1998 г.

Сдано в набор 6.08.2001 г. Подписано к печати 30.08.2001 г.

Формат 60x84^{1/16}. Бумага офсетная. Усл. печ. л. 13,25.

Тираж 200 экз. Заказ 1427

Отпечатано с оригинал-макета.

Типография Кировского областного бюро медицинской статистики.

610000, г. Киров, ул. Энгельса, 82.