

ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ МОБИЛЬНОЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ БИОДИЗЕЛЯ

д.т.н. Дидур В.А., д.т.н. Надыкто В.Т.,
к.т.н. Журавель Д.П., к.т.н. Юдовинский В.Б.

На современном этапе развития цивилизации существенную роль в решении энергетической и продовольственной безопасности многих стран мира (в том числе и Украины) играет роль биоэнергетика. Одним из путей биоэнергетического обеспечения, в частности мобильной техники, есть производство биодизеля, объемы которого в различных странах мира постоянно увеличиваются рис. 1. К сожалению, Украина на этом пути находится в самом начале. Лидером по производству биодизеля является Германия. Использование биодизеля известным концерном «Volswagen» позволило обнаружить ряд серьезных недостатков, наиболее существенными, среди которых являются:

- снижение мощности и надежности двигателей;
- закоксовывание жиклеров форсунок;
- забивание топливных фильтров;
- чувствительность к температуре окружающей среды.

Эти и другие недостатки очевидно можно нивелировать путем выполнения глубоких исследовательских и опытно конструкторских работ, а также создания законодательной и нормативной базы.

Биодизель в современном понимании есть смесь в определенной пропорции и по специальной технологии эфиров жирных кислот с минеральным дизельным топливом.

Пропорции и технология смешивания зависит от физико-химических свойств сырья, из которого производятся эфиры жирных кислот, и должны соответствовать требованиям отраслевого стандарта СОУ24.14.-37-561: 2007.

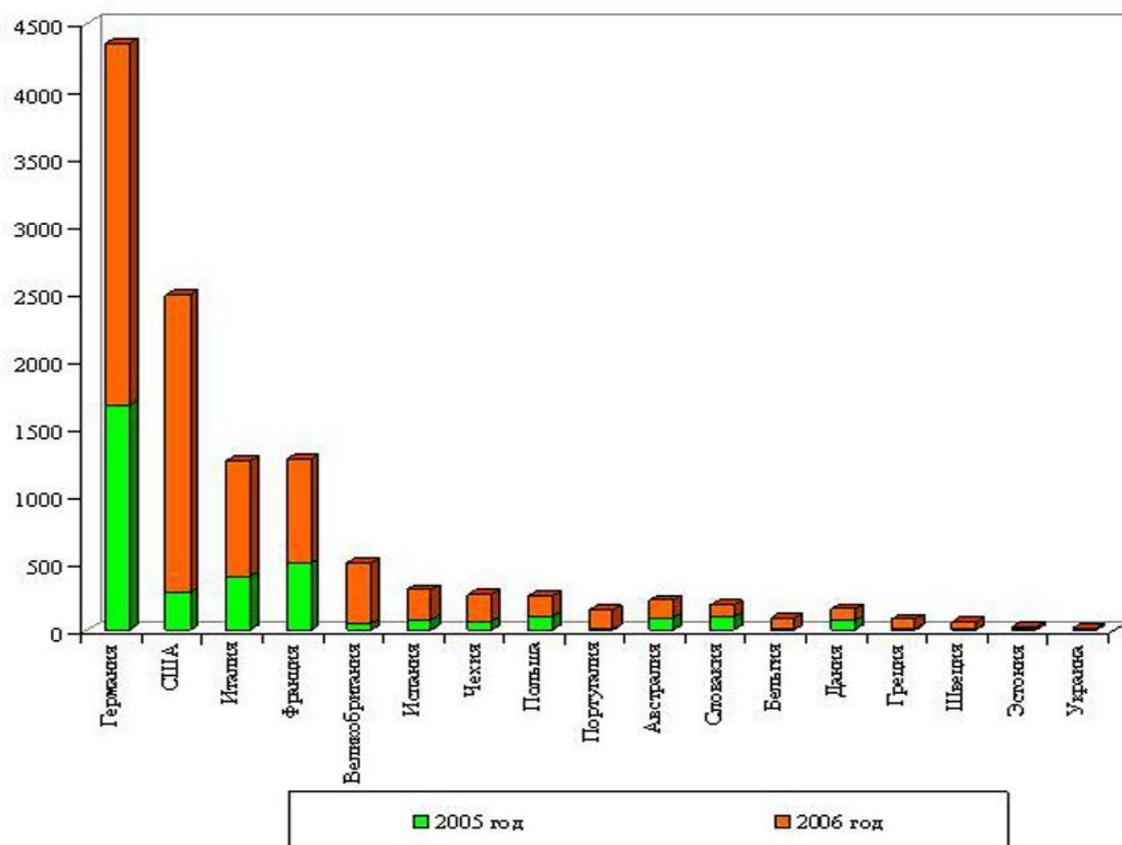


Рис 1. Объемы производства биодизеля в странах мира.

Таким сырьем может быть любая из масличных культур в Украине, которых насчитывается более десяти наименований. Качественные показатели метиловых эфиров растительных масел наиболее распространенных культур в сравнении с показателями минерального топлива приведены в табл. 1.

Из всех проблемных вопросов связанных с использованием биодизеля в настоящее время наименее изученными являются те, которые определяют надежность двигателей энергетических средств и эксплуатационных показателей работы машино - тракторных агрегатов (МТА).

Решение этих вопросов представляется возможным путем изучения химмотологических свойств метиловых эфиров, а также путем определения количественного соотношения составляющих биодизеля при котором достигаются наилучшие эксплуатационные показатели МТА.

Таблица 1. Показатели качества эфиров жирных кислот согласно СОУ 24.14-37-561:2007

№	Название показателя	Эфиры метиловых жирных кислот для дизельных двигателей согласно с СОУ 24.14-37-561:2007			
		Масло подсолнечника	Касторовое масло	Рапсовое масло	ДТ ДСТУ 4840:2007
1	Цетановое число	52	53	48	45
2	Кинематическая вязкость при температуре 40 °С, мм ² /с	4,0	5,0	9,0	3,0-6,0
3	Плотность при температуре 15 °С, кг/м ³	890	900	920	860 (при 20 °С)
4	Температура вспышки в закрытом тигеле, С	130	140	135	40
5	Массовая доля серы, %	0,01	0	0,02	0,05-0,5
6	Зольность, %	0,01	0,02	0,03	0,01
7	Содержание воды, %	0,03	0,03	0	0
8	Кислотное число, мг КОН на г	0,4	0,4	0,5	5 мг (КОН на 100 см) ³
9	Массовая доля метанола, %	0,2	0,1	-	-
10	Массовая доля общего глицерина, %	0,25	0,24	0,3	-
11	Содержание механических примесей	Отсутствуют	Отсутствуют	Отсутствуют	Отсутствуют
12	Испытана на медной пластине	Выдерживает	Выдерживает	Выдерживает	Выдерживает

Во время проведения предыдущих лабораторно-полевых исследований нами установлено, что при работе на биодизеле в виде смеси ДТ и подсолнечного метилового эфира (ПМЭ) в целом ухудшается приёмистость двигателя используемого трактора. Получения количественной оценки этого процесса осуществлялось с помощью агрегата в составе трактора ХТЗ-121 и двух культиваторов КПС – 4 с боронами. На отмеченном энергетическом средстве установлен двигатель СМД-19Т. Во время проведения экспериментальных исследований он последовательно работал на чистом ДТ и чистом ПМЭ и смеси этих компонентов в таком соотношении:

Таблица 2 – Процентное соотношение составляющих биодизеля.

ДТ, %	50	60	70	80
ПМЭ, %	50	40	30	20

ДТ, ПМЭ и смеси данных компонентов поступали непосредственно к топливному насосу двигателя из емкости дополнительно установленной на тракторе измерительного топливного бака.

Исследования проводили при таких условиях: температура воздуха - 33,5 °С; температура ДТ - 30,0 °С; температура ПМЭ - 30,0 °С; плотность ДТ - 0,823 г/см³; плотность ПМЭ - 0,867 г/см³; почвы - 1,39 г/см³; влажность почвы - 16,5%; установленная глубина пахоты - 24,0 см.

С помощью тахометра определяли минимальные обороты холостого хода N_{\min} и обороты устоявшегося режима движения, пахотного МТА N_{\max} .

Методика экспериментальных исследований предусматривала регистрацию динамики разгона агрегата от N_{\min} до N_{\max} . Для этого на ЭВМ с помощью аналогово-цифрового преобразователя (АЦП) и установленного на валу отбора мощности трактора специального датчика дискретно записывали обороты двигателя и длительность этого процесса. Шаг дискретизации регистрируемых параметров - 0,031 с.

Повторяемость измерений n в каждом опыте определяли по общеизвестной формуле:

$$n = (tV/\rho)^2 \quad (1)$$

где t - нормируемые значения f -критерия Стьюдента (при доверительной вероятности 95% $t = 1,96$); V - коэффициент вариации и допустимая граница отклонения (показатель точности) измеряемого параметра.

У большинства технических задач определять погрешность измерений с точностью большей, чем 10%, нет потребности. Исходя из этого в расчетах нами было принято $\rho = 0,1$.

Что же касается коэффициента вариации оборотов двигателя, то для оценки этой статистической характеристики проводили соответствующие предыдущие измерения. В результате установлено, что значение V не превышает 10%. Подставив значения t , V и ρ в исходную формулу, можно сделать заключение, что количество повторений каждого опыта должно быть не меньше 4.

Как показал анализ полученных данных, увеличение количества ПМЭ в топливе увеличивает время разгона пахотного агрегата (рис. 2). Если при работе двигателя трактора на чистом ДТ значение этого параметра составляло 4,8 с, то при использовании смеси 50:50 оно выросло до 5,6 с, то есть на 16,6%.

При работе двигателя на чистом ПМЭ время разгона исследуемого пахотного МТА увеличится до 7,2 с, это больше, чем при работе на смеси и на ДТ, соответственно, на 28,5 и 50,0%.

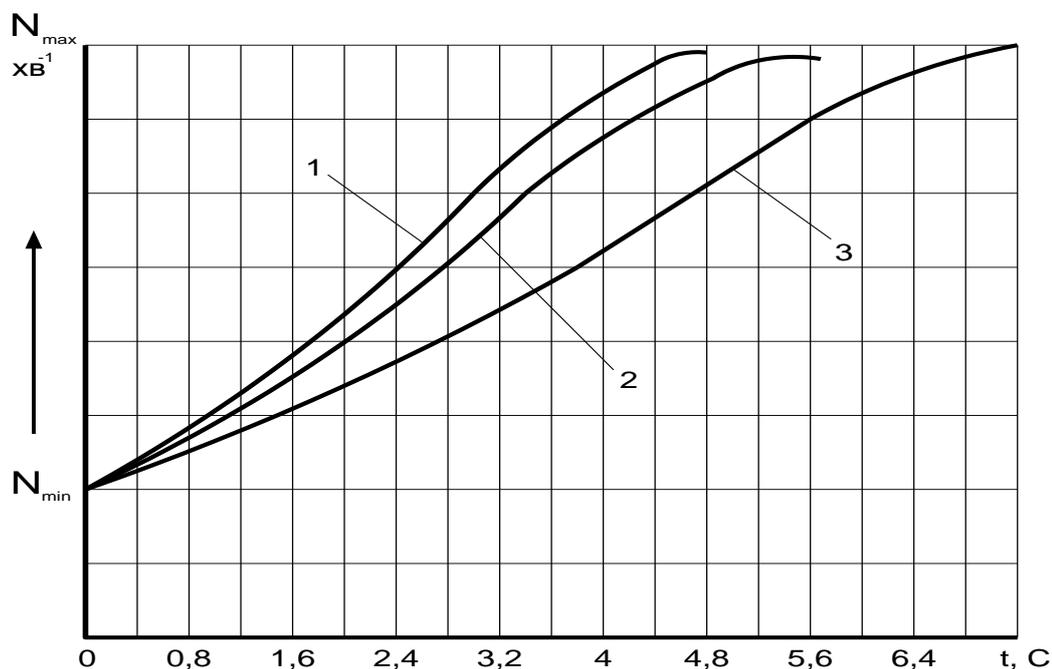


Рис. 2 Кривые разгона МТА при работе двигателя трактора ХТЗ – 121 на различных видах топлива: 1 – ДТ, 2 – смесь ДТ с ПМЭ в пропорции 50:50, 3 – ПМЭ.

Кривые разгона агрегата, где трактор работал на смеси, отличной от соотношения 50:50, попадают в промежуток между линиями 1 и 2 (рис. 2). Для лучшего восприятия графической информации на рисунке эти промежуточные кривые не отображены.

На рис. 2 видим, что кривая 2, которая отвечает смеси ДТ и ПМЭ в соотношении 50:50, расположена ближе к линии 1, чем к линии 3. Это дает возможность сформулировать такие предварительные выводы:

- 1) процесс увеличения времени разгона МТА при изменении в топливе процентного содержания ПМЭ является нелинейным;
- 2) время разгона агрегата растет по мере увеличения в смеси процентного содержания ПМЭ. При значении более 45% интенсивность этого процесса растет (рис. 3).

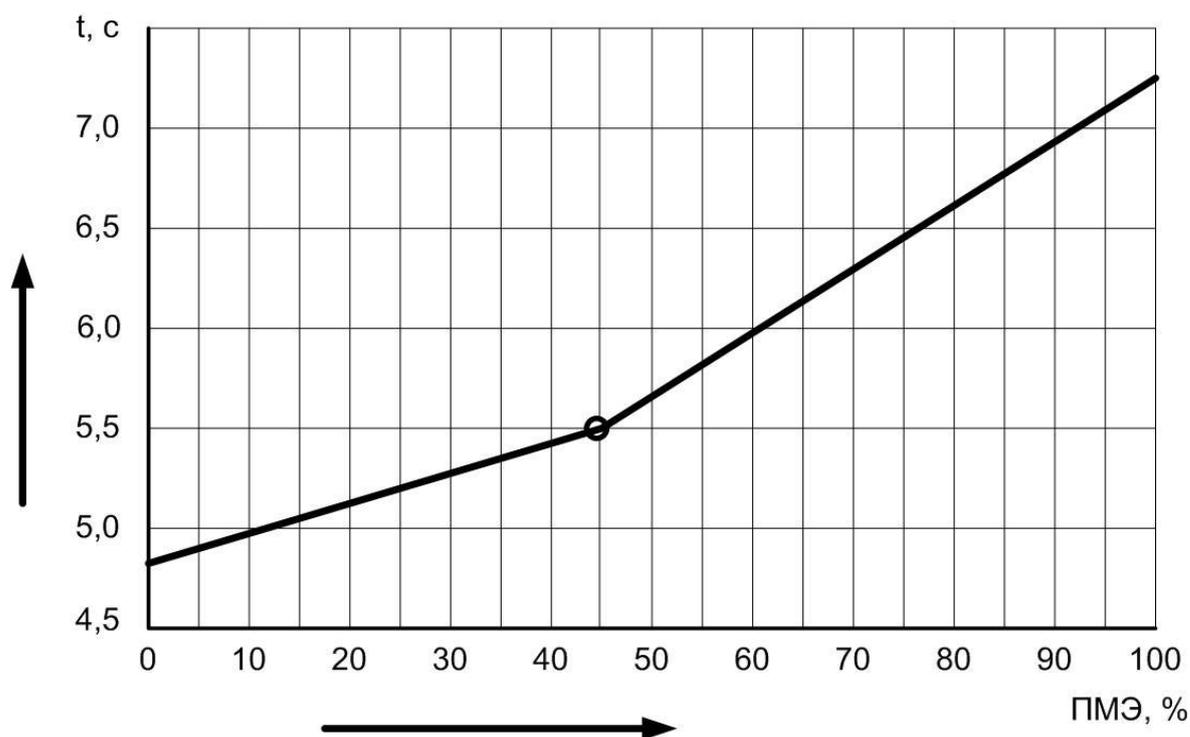


Рис. 3. Влияние процентного содержания ПМЭ в смеси топлива на время разгона МТА.

Однако из приведенного выше анализа однозначно не следует, что оптимальным вариантом является смесь ДП и ПМЭ в соотношении 55:45. В первую очередь следует оценить влияние такой смеси топлива на эксплуатационные показатели работы того или другого машинно-тракторного агрегата.

Объектом для экспериментальных исследований служил МТА в составе трактора ХТЗ-121 с сдвоенными шинами 23,1 R26, центральной части сцепки СП-16, двух культиваторов КПС-4 с боронами БЗТС-1,0 (восемь штук). Данный агрегат является типичным для условий Юга Украины

Лабораторно-полевые исследования данного агрегата проводили на культивации зяби. Перед проведением работ регистрировали влажность и плотность почвы. Опытное поле разбивали на два зачетных участка длиной 250 м каждый. Скорость рабочего движения культиваторного машинно-тракторного агрегата ограничивалась энергетическими возможностями трактора и динамикой его вертикальных колебаний. В процессе исследований регистрировали: время прохождения агрегатом зачетного участка; плотность почвы в колее трактора; рабочую ширину захвата МТА; разницу высот уровней топлива в измерительном баке до и после опыта; обороты ведущих колес трак-

тора.

Для регистрации оборотов колес, использовали специально разработанные устройства с герметическими контактами, сигнал от которых записывали на ЭВМ с помощью АЦП. Полученные данные использовали для расчета часовых расходов топлива и буксования движителей трактора. Последнюю величину рассчитывали по формуле:

$$\delta = 1 - \frac{N_x V_p}{N_p V_x} \quad (2)$$

где N_p , N_x - количество оборотов колес трактора во время движения трактора на одной и той же передаче соответственно с тяговой нагрузкой и без неё; V_p , V_x - скорость движения МТА на одной и той же передаче с тяговой нагрузкой и без неё.

Часовые расходы топлива агрегатом находили из выражения,

$$G = Kg \frac{3,6\pi\rho d^2 \Delta h}{4T}, \quad (3)$$

где ρ - плотность топлива, г/см³; d - внутренний диаметр измерительного бака, мм; Δh - разница уровней столбика топлива в измерительном баке до и после опыта, мм; T - длительность опыта, с; Kg - коэффициент, который учитывает зависимость плотности топлива ρ от его температуры t .

За работой культиваторного агрегата на протяжении двух контрольных измерений вели хронометражные наблюдения. Необходимое количество измерений элементов переменного времени, и их погрешность определяли в соответствии с требованиями ГОСТ 24055 - 88. На протяжении одного измерения двигатель трактора работал на ДТ, а на протяжении второго - на смеси ДТ и ПМЭ в соотношении 50:50. Оба измерения проводили при работе агрегата на одном и том же поле.

Сплошную культивацию зяби опытным агрегатом проводили при среднем значении влажности почвы 24,2%. Плотность его в слое 0-15 см была относительно высокой и равнялась 1,29 г/см³.

Культиваторный МТА двигался со скоростью 1,7-2,0 м/с (6,1 - 7,2

км/час). Доверительный интервал глубины возделывания почвы составлял при этом 11 ± 2 см. Коэффициент вариации данного процесса не превышал 3%.

Буксование двигателей трактора с сдвоенными шинами в составе культиваторного агрегата равнялось 9,8%.

При работе МТА почва уплотнилась до значения $1,36 \text{ г/см}^3$. В сравнении с исходным агрофоном этот показатель увеличился лишь на 5,4%.

Часовые расходы топлива культиваторным агрегатом в среднем составляли 21,6 кг/час, что отвечает 86% загрузке двигателя трактора ХТЗ-121.

Как показали результаты эксплуатационно-технологической оценки (табл. 3), производительность агрегатов при работе двигателя трактора как на ДТ, так и на биодизеле практически одинаковая. Полученная разница этих показателей является статистически незначимой.

Таблица 3. Эксплуатационно – технологические показатели работы культиваторного агрегата

Показатель	Значения для МТА при работе двигателя	
	На дизельном топливе	На биодизеле
Рабочая ширина захвата, м	7,7	7,8
Рабочая скорость движения, км/час	7,2	7,1
Производительность (га) за час времени:		
- основного	5,54	5,54
- сменного	4,10	4,15
- эксплуатационного	3,93	3,88
Затраты труда, чел.час/га	0,24	0,24
Обработанная площадь, га	33,5	25,1
Расход топлива, л/га	3,89	4,00
Эксплуатационно-технологические коэффициенты:		
- использования сменного времени	0,74	0,75
- использование эксплуатационного времени	0,71	0,70
- надежность технологического процесса	0,96	0,96
- использование рабочих ходов	0,87	0,86

Практически одинаковыми являются и другие эксплуатационно-технологические показатели, кроме удельных расходов топлива. При работе двигателя на биодизеле они были на 2,75% больше, что в принципе является вполне закономерным результатом.

В то же время на основе приведенного выше анализа еще нельзя утверждать, что эксплуатационные показатели любого МТА при работе двигателя трактора на смеси ДТ и ПМЭ даже в пропорции 50:50 не изменятся в худшую сторону. Во-первых, у исследуемого агрегата загрузка двигателя составляла не более 86%. Возникают вопросы, какими будут показатели того или другого МТА при увеличении уровня загрузки двигателя до 95%?

Можно предположить, что чем больше значение этого показателя, тем большее время разгона агрегата.

Во-вторых, неизвестно, как изменятся удельные расходы топлива при увеличении времени работы двигателя трактора, работающего с малой нагрузкой (частые повороты, технологические остановки, транспортные переезды и т.п.).

А если ухудшение эксплуатационно-технологических показателей и не будет иметь места, то остается, в конце концов, еще один очень важный и пока еще невыясненный вопрос. А именно, или изменится (а если так - то насколько) надежность работы двигателя при сопоставимой с моторесурсом его эксплуатации на биодизеле в виде смеси того или другого соотношения между ДТ и растительным метиловым эфиром или нет?

Для косвенной оценки надежности ДВС работающего на биодизеле наши рассуждения базировались на триботехническом и химмотологическом анализе процессов происходящих в парах трения. Если принять за рабочую гипотезу, то что причиной ускоренного изнашивания пар трения в среде биодизеля есть водородное насыщение поверхностей, то исходя из этого можно раскрыть механизм взаимодействия различных конструкционных материалов при трении.

Для биодизеля характерным является присутствие в нем метанола в котором на три молекулы углерода приходится восемь молекул водорода. При взаимодействии с металлом в парах трения происходит выделение водорода и его постепенный переход в поверхностный слой металла.

При этом возникают некоторые типовые цепи физико-химических процессов, которые способствуют водородному изнашиванию,

Растворимость водорода в металле зависит от плотности упаковки атомов в кристаллической решетке металла.

Исследование чувствительности различных металлов и сплавов к метиловому эфиру проводились с выдержкой 56 и 250 часов при температуре 20⁰С.

Результаты исследований показали, что углеродо-водородные соединения, которые присутствуют в метиловом эфире по разному влияют на поведение поверхностных слоев металла. Например, серые чугуны с ферритной металлической основой типа СН 20 очень чувствительны к углеродно-водородной среде. Углерод метила восстанавливает феррит с окисных пленок, уменьшая противодействие изнашиванию и освобождает свободный проход водорода в металлическую основу чугуна, увеличивая хрупкость и уменьшая общую прочность чугуна (рис.4)

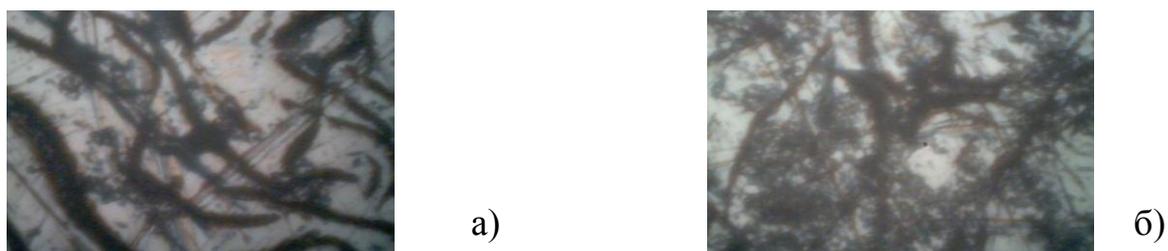


Рис. 4 Поведение поверхности серого чугуна СЧ20 ГОСТ 1412-85 при выдержке 56 часов (а) и 250 часов (б)

Представляют интерес процессы, что происходят на поверхности хромистых сталей. Хром является катализатором водородной хрупкости. Он растворяется у феррите, создавая большое количество вакансий, способствующих наводораживанию поверхности. Этот процесс хорошо можно проследить на примере легированной конструкционной стали 40Х (рис 5)

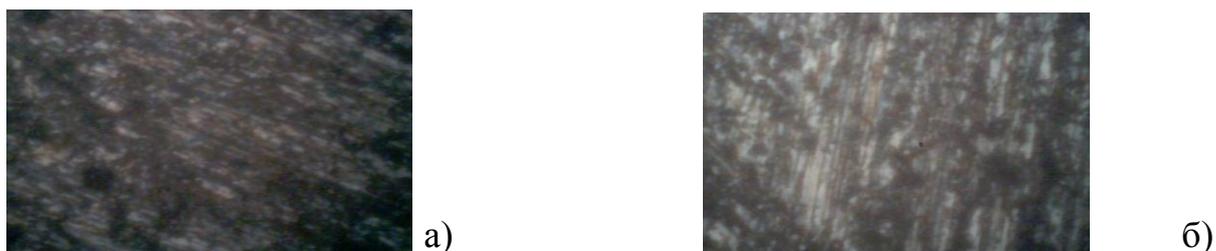


Рис. 5 Поведение поверхности стали 40Х ГОСТУ 4543-81 при выдержке 56 часов (а) и 250 часов (б)

Большое содержание хрома (более 18%) в стали превращает ее в аустенитный класс для которой характерным является переход кристаллической решетки из объемно-центрированного куба в гранцентрированный куб с увеличенной плотностью упаковки. Это сказывается на способности создавать сопротивление внедрению водорода в сталь и изменению ее физико-механических свойств. Кроме этого, введение никеля в сталь препятствует созданию вакансий и за счет этого снижается возможность внедрения водорода в поверхность стали.

Отсутствие окисных пленок на поверхности стали не способствует распаду углерода с выделением водорода.

На поверхность алюминия метиловые эфиры влияют более интенсивно, чем на сталь, растворяя поверхность, создавая черный налет, который легко смывается. Это происходит в результате восстановления окисной пленки алюминия углеродом, освобождая свободный водород, который диффундирует в поверхность и наводораживает ее. Причем, с увеличением времени выдержки его в метиловом эфире величина налета окисной пленки увеличивается (рис 6)

Аналогичные процессы наблюдаются и на поверхностях других цветных металлов. Для проверки достоверности описанных процессов взаимодействия конструкционных материалов с углеводородами нами приведены исследования по определению количества десорбированных частичек металла находящихся в среде метилового эфира.

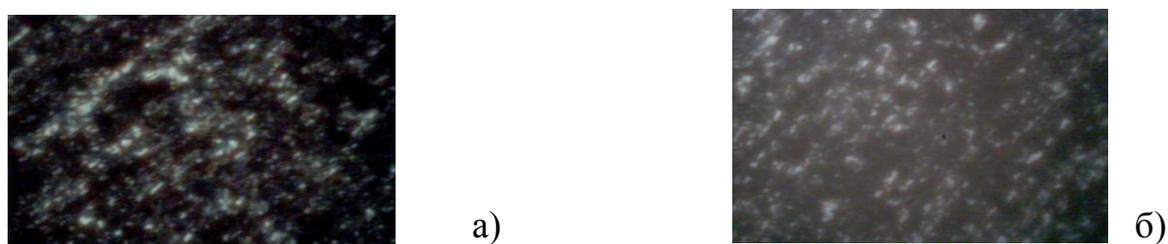


Рис. 6 Поведение поверхности алюминия А0 ГОСТ 3549-85 при выдержке 56 часов (а) и 250 часов (б)

Исследования проводились с помощью прибора контроля загрязненности жидкостей ПКЖ-904В, принцип действия которого состоит в регистрации светочувствительным элементом (фотодиодом) изменение светового по-

тока от источника света (светодиода) во время перекрытия светового потока отдельной частицей, что находится в потоке контролируемой жидкости. Электрические сигналы фотодиода усиливаются, анализируются по амплитуде и распределяются по соответствующим размерным диапазонам, указанным на табло прибора.

В среду метилового эфира полученного из подсолнечного масла погружались образцы различных металлов широко используемых в дизельных двигателях и выдерживались в течении 250 часов. Результаты исследований представлены в виде гистограммы. Рис.7

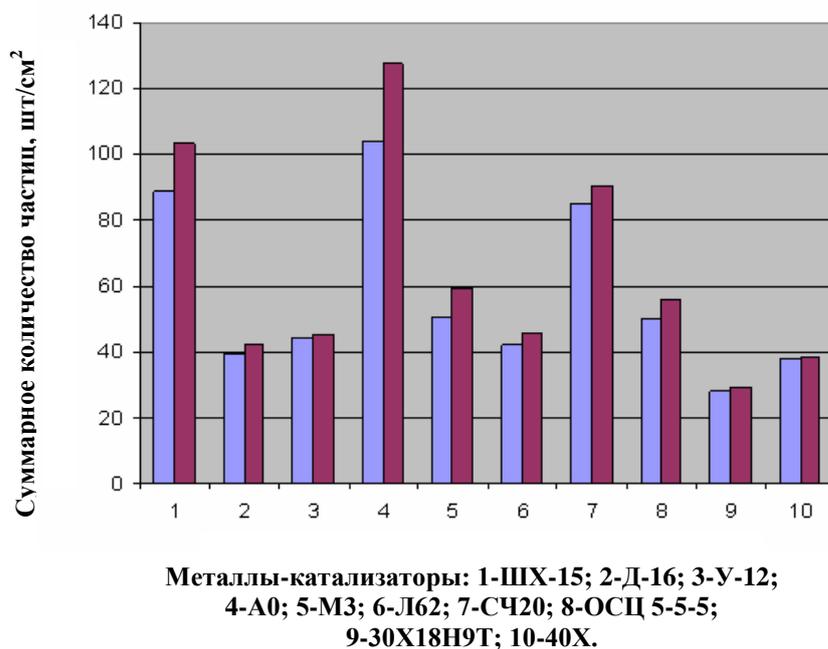


Рис 7 – Среднеарифметическое и среднеквадратическое значение суммарного количества десорбированных частиц металла в ПМЭ из единицы поверхности образца.

Из приведенной гистограммы следует, что наиболее чувствительными к ПМЭ оказались образцы алюминия А0, стали ШХ-15 и чугуна СЧ20. Это даёт основание рекомендовать избегать применения указанных материалов для прямого контакта с биодизельным топливом. Кроме этого результаты металлографических исследований дают основание утверждать, что водородный износ пар трения в среде биодизеля будет иметь место потому, что на поверхностях образцов возникают окисные пленки, а в структуру поверхностных слоев внедряется молекулярный водород. Интенсивность этого вида

изнашивания может быть управляемым за счет изменения концентрации метанола в биодизеле. Это один из важных выводов данных исследований, поскольку снижение концентрации метанола в биодизеле позволит предотвратить проникновение водорода в поверхностные слои конструкционных материалов, что будет способствовать уменьшению водородного изнашивания.

Наконец следует иметь в виду, что без глубоких исследований проблем, в том числе указанных в данной статье широкое использование биодизеля для мобильной энергетики АПК может привести к целому ряду нежелательных проблем.