

2. Образование корундового слоя только на донышках поршней 3 и 4 цилиндров опытного дизеля позволило снизить темп износа гильз цилиндров в 2,5 – 6 раз по сравнению с износом гильз цилиндров серийного дизеля. Снижение темпа износа гильз 3 и 4 цилиндров опытного дизеля объясняется уменьшением температуры тела поршня и температуры в зоне трения колец и цилиндрической части поршня о гильзу.

3. Наименьший темп износа имеют поршни с корундовым слоем на всей рабочей поверхности, который составил 2,4 мкм/год, что объясняется низким коэффициентом трения корундового слоя цилиндрической части поршня о гильзу.

4. Образование корундового слоя на кольцевом поясе поршней позволило снизить темп износа кольцевых канавок примерно в 1,5 раза из-за уменьшения коэффициента трения колец о стенки кольцевых канавок.

Список литературы:

1. Семёнов В.С. *Теплонапряженность и долговечность цилиндра-поршневой группы судовых дизелей.* - М.: Транспорт, - 1977. – 182 с.
2. Костин А.К., Ларионов В.В., Михайлов Л.И. *Теплонапряжённость двигателей внутреннего сгорания.* - Л.: Машиностроение, -1979. – 222 с.

УДК 621.891

***А.У. Стельмах, канд. техн. наук, Т.В. Терновая, канд. хим. наук,
С.А. Алёхин, канд. техн. наук, Н.В. Клименко, инж., Г.В. Щербаненко, инж.***

НА ПУТИ К БЕЗЫЗНОСНОМУ ТРЕНИЮ

В Киевском Национальном авиационном университете (НАУ) разработан новый молекулярный модификатор трения – условное название ММТ. Это вещество представляет собой присадку, которая вводится в горюче-смазочные материалы, хорошо растворима в неполярных углеводородных средах и не осаждается из растворов при фильтрации. Предварительные лабораторные исследования этого вещества подтвердили его высокую эффективность. Так, на специальном стенде RFL Optimal Test System при испытаниях по стандартной методике фирмы ELMATIK износ почти всех товарных масел и топлив находится в диапазоне 2...3 мг, а этих же продуктов с веществом ММТ в диапазоне 0,02...0,09 мг, таблица 1.

В ходе проведенных исследований обнаружено, что после введения ММТ в горюче-смазочные материалы проявляются принципиально новые свойства этих смесей:

- в неполярных углеводородных растворах наблюдается трение скольжения со структурой изнашивания, отличной от классической – стадия начального изнашивания и стадия неизмеримо низкой интенсивности изнашивания в широком нагрузочном интервале вплоть до нагрузок, близких к пределу текучести поверхности;

- долговечность узлов качения при реализации нового решения возрастает более, чем в четыре раза при очень малом износе поверхности;

- образование трибохимических, модифициро-

ванных поверхностных структур, позволяющих минимизировать величину начального износа на любых видах контакта трибосистем скольжения;

- трибосистемы скольжения характеризуются

силой трения, которая имеет деформационную природу, т.к. признаки действия ее адгезионной составляющей отсутствуют.

Таблица 1. Результаты испытаний ММТ на стенде RFL Optimal Test System

Среда	Износ, мг	Фактические контактные давления, Н/мм ²	Температура поверхности трения вала, °С	Коэффициент трения, μ
Товарные масла и топлива	2,02...3,315	276...205	195...220	0,16...0,235
Товарные масла и топлива с ММТ	0,021...0,095	1700...1100	111...149	0,065...0,127

Изучение влияния вещества ММТ на свойства моторного масла и поверхностей трения были продолжены в условиях работы реального дизельного двигателя 1СН8/11.

Для определения влияния ММТ на эксплуатационные характеристики масла было взято масло, не содержащее присадок. Для получения масла с уровнем вязкости 12...12,5 мм²/с использовали дистиллятный компонент (масляная фракция 420...500°С) с вязкостью при 100°С 8,7 мм²/с и масло МС-20. Приготовленная смесь, состоящая из 55 % дистиллятного компонента и 45% масла МС-20, имела вязкость 12,4 мм²/с, далее по тексту – контрольное масло М-12. При введении в это масло 5% присадки ММТ отмечено увеличение вязкости до 14,1 мм²/с. Для обеспечения одинаковой вязкости масел при всех испытаниях, с целью исключения влияния этого показателя на мощностные характеристики двигателя, полученная испытываемая смесь масел была скорректирована добавлением дистиллятного компонента. В результате получено масло следующего состава: дистиллятный компонент - 58,6%; масло МС-20 - 36,7%; ММТ - 4,7% масс., вязкость 12,4 мм²/с (масло М-12 ММТ).

Методика исследований на двигателе 1СН8/11, разработанная КП ХКБД, предусматривает проведение приработочных испытаний двигателя до стабилизации скорости износа основных пар трения деталей цилиндра-поршневой группы на моторном масле Галол М-4042 ТД, а затем сравнительных ускоренных

испытаний образцов масел в последовательности: “контрольный - опытный - контрольный” без разборки двигателя с последующей оценкой скорости выноса металлов в масло спектральным методом за каждый 24-часовой цикл.

В качестве оценочных показателей свойств масла принята относительная скорость выноса металлов поршневых колец, зеркала цилиндра (элемент-индикатор - железо), втулки верхней головки шатуна (медь), вкладышей подшипников коленчатого вала (свинец). Кроме того, оценка результатов испытаний проводилась по изменению мощности и топливной экономичности двигателя. Опытное масло считается на уровне контрольного масла, если скорость поступления железа, меди и свинца на опытном масле равна скорости поступления этих элементов на контрольном масле или отличается не более, чем на величину погрешности метода (26% при определении скорости поступления железа, 17% - меди, 28% - свинца). Алюминий и хром не являются оценочными элементами, и их содержание приводится в качестве дополнительной информации.

Определение физико-химических показателей масел проводили по стандартным методикам, принятым для моторных масел. Определяли плотность, вязкость кинематическую, температуру вспышки, щелочное и кислотное числа, зольность сульфатную, термоокислительную стабильность. Дополнительно определяли нагарообразующую способность масел М-12 и М-12 ММТ по методу “Плита”. Метод осно-

ван на определении количества нагара, полученного при периодическом набрызгивании масла на нагретую до 330°C алюминиевую пластину с последующим испарением и окислением масла в тонком слое.

Приведенные в табл. 2 данные показывают, что при введении присадки ММТ увеличиваются значения плотности, вязкости, щелочного и кислотного числа масла. При этом улучшается термоокислительная стабильность масла (60 против 18 минут) и уменьшается количество нагара, полученное при испытаниях на приборе "Плита".

В соответствии с принятой методикой перед началом моторных испытаний масел двигатель 1ЧН8/11 был собран с новыми деталями ЦПГ, обкатан и отрегулирован в соответствии с техническими условиями, прошел приработочные испытания на моторном масле Галол М-4042 ТД для стабилизации скорости поступления продуктов износа в масло. Замечаний по работе двигателя в процессе испытаний на маслах М-12 и М-12 ММТ не было, табл. 3.

Таблица 2. Основные физико-химические показатели масел М-12 и М-12 ММТ

№ п/п	Наименование показателей	М-12	М-12 ММТ
1.	Плотность при 20 °С, кг/м ³	884	893
2.	Вязкость кинематическая при 100 °С, мм ² /с	12,42	14,10
3.	Температура вспышки в о/т, °С	212	215
4.	Щелочность, мг КОН/г	0,20	12,92
5.	Кислотное число, мг КОН/г	0,55	6,49
6.	Водородный показатель, рН	6,5	7,5
7.	Зольность сульфатная, %	0,05	2,35
8.	Термоокислительная стабильность, мин	18	60
9.	Нагарообразующая способность, мг	330	230

Таблица 3. Изменение технико-экономических показателей двигателя 1ЧН8/11

Испытание масел	Средние значения параметров двигателя на режиме $n=1500 \text{ мин}^{-1}$ за испытательный цикл							Атмосферное давление, мм рт.ст.
	N_e , кВт	G_T , кг/ч	g_e , г/кВт·ч	T_m , °С	$T_{ож}$, °С	T_T , °С	T_o , °С	
Приработочные испытания Штатное масло Галол М-4042 ТД	3,42	0,96	280	65...74	76...80	210...240	20...28	746
I цикл Базовое масло М-12	3,60	0,96	267	68...72	75...80	210...240	19...23	748
II цикл Опытное масло М-12 ММТ	3,79	0,96	254	68...70	75...82	220...240	20...24	755
III цикл Базовое масло М-12	3,74	0,96	257	68...70	75...80	220...240	18...22	753
IV цикл Штатное масло Галол М-4042 ТД	3,57	0,96	269	68...72	75...81	220...240	16...24	750

Представленные результаты показывают, что после введения ММТ (II цикл испытаний) мощность увеличилась на 5,1%, и на столько же уменьшился удельный расход топлива. После перехода на базовое масло (III цикл испытаний) мощность осталась на

3,7% больше, чем при испытаниях масла М-12 (I цикл). При последующей работе на масле Галол М-4042 ТД (IV цикл) мощность двигателя также была выше на 4,3% по сравнению с исходной мощностью после приработочных испытаний. Эти дан-

ные свидетельствуют о проявлении эффекта послед-
действия присадки ММТ. Результаты спектрального

анализа проб масел, отобранных в процессе испыта-
ний, представлены на рис. 1 и 2.

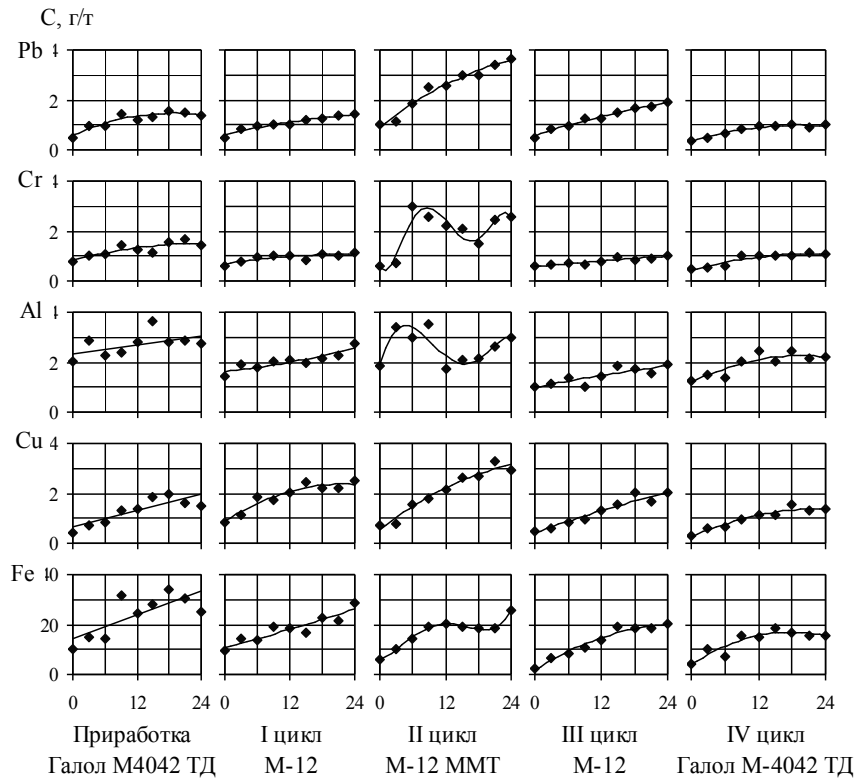


Рис. 1. Содержание металлов в моторных маслах в процессе их ускоренных испытаний на двигателе 1 ЧН8/11

Полученные данные свидетельствуют о том, что уровень концентраций меди при работе двигателя на маслах М-12 и М-12 ММТ практически одинаков, содержание свинца выше, алюминий, хром и железо ведут себя необычно – их концентрация изменяется немонотонно.

Скорости выноса металлов в масло по принятым оценочным элементам-индикаторам Fe, Cu и Pb на каждом цикле испытаний приведены в табл. 4, относительные скорости их поступления в масло даны в табл. 5.

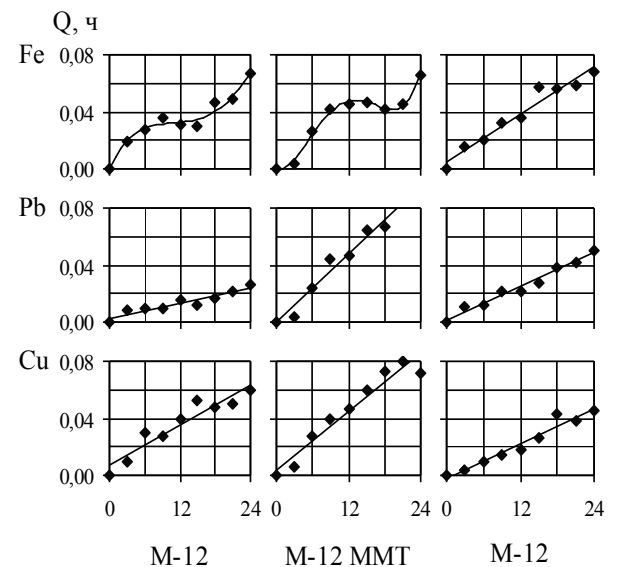


Рис. 2. Вынос металла в масло по результатам спектрального анализа

Таблица 4. Скорости поступления металлов в масло при испытаниях двигателя 1ЧН8/11

Моторное масло	Скорости поступления металлов в масло, мг/ч		
	V_{Fe}	V_{Cu}	V_{Pb}
М-12	2,64	0,32	0,11
М-12 ММТ	2,2...1,7...0	0,35	0,40
М-12	2,66	0,25	0,208

Таблица 5. Относительные скорости поступления металлов в масло

Моторное масло	Относительная скорость		
	\bar{V}_{Fe}	\bar{V}_{Cu}	\bar{V}_{Pb}
М-12	1,0	1,0	1,0
М-12 ММТ	0,8	1,2	2,5

Проведенные исследования и испытания в двигателе 1ЧН8/11 масла М-12 ММТ позволяют сделать следующие выводы:

1. Разработанная НАУ присадка – молекулярный модификатор трения (ММТ) к горюче-смазочным материалам, испытанная в дизельном двигателе 1ЧН8/11, является новым направлением в области химмотологии и трибологии, может повысить надежность работы двигателей внутреннего сгорания, узлов трения машин и механизмов.

2. Немонотонный характер изменения концентрации элементов-индикаторов износа цилиндро-поршневой группы двигателя свидетельствует о новом механизме взаимодействия присадки с поверхностями трения.

3. Эффект последействия присадки подтверждается длительным сохранением повышенной

мощности и экономичности при последующей работе двигателя на масле без присадки ММТ.

4. Целесообразно продолжить исследования и испытания присадки ММТ в парах трения различных механизмов машин и двигателей внутреннего сгорания.

Таким образом, показано, что при помощи ММТ возможно осуществление целого ряда малоизученных до настоящего времени процессов: безыносного трения, безыносного скольжения, безадгезионного трения.

Практическая реализация только первого из этих явлений в технике позволит значительно увеличить долговечность и надежность машин и механизмов, увеличить их мощность и нагруженность при одновременном уменьшении металлоемкости и габаритов, а также сократить объемы и ассортимент применяемых горюче-смазочных материалов.

Список литературы:

1. Аксёнов А.Ф., Терновая Т.В., Стельмах А.У. О возможности практически безыносного трения металлов в среде керосина // Трение и износ. - 1990. - №1. - С. - 176-177.
2. Аксёнов А.Ф., Терновая Т.В., Маслов В.Т., Стельмах А.У. Самоорганизация трибосистем // Докл. АН УССР. Сер. А. Физико-математические и технические науки. -1990. - №7. - С. 32-36.