

$$M_{II}j_2 = \sum R_{x2} + D;$$

откуда

$$D = M_{II}j_2 - \sum R_{x2}.$$

По полученным данным определяем тормозное соотношение  $i_T$  по формуле (1).

По результатам дорожных испытаний делается заключение о соответствии инерционной тормозной системы прицепа международными требованиями Правил 13 и ГОСТ Р 51709-2001. Минимально-допустимое значение тормозного соотношения должно быть не ниже пяти.

621.43

## МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ПРОВЕРКИ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ СВОЙСТВ МОТОРНЫХ МАСЕЛ

*Д-р техн. наук, проф. С.В. ПУТИНЦЕВ, асп. А.В. СИНЮГИН, асп. А.А. БЕЛОВ*

*Представлены методика и результаты экспериментального исследования энергосберегающих свойств ряда моторных масел. Получено, что наряду со стандартными методами замера механических потерь и расхода топлива, для более надежной оценки антифрикционных (энергосберегающих) свойств моторных масел целесообразно применение замера температурных полей трения цилиндра (при прокрутке двигателя без сжатия и охлаждения) и контроля температуры масла в картере двигателя.*

*The technique and results of an experimental research of some engine oils and their power efficient properties are presented. It is gained, that along with standard methods of sampling of mechanic losses and a fuel rate, for more reliable estimation of antifriction (power efficient) properties in engine oils the thermal fields of abrasion of the cylinder (at cranking without compression and cooling) should be monitored together with the oil temperature in a crankcase of the engine.*

Как указывалось в ранее выполненной работе [1], «... появление на авторынке России так называемых энергосберегающих моторных масел повлекло за собой проблему надежного тестирования их служебных свойств, главным из которых выступает повышенная способность снижения трения смазываемых деталей и сокращения за счет этого расхода топлива в двигателе». Так как заявляемый производителями уровень энергосбережения (по расходу топлива) при использовании этих смазочных материалов в целом не превышает 3%, оценка данного показателя существующими методами, основанными на измерении расхода топлива и имеющими, как известно, сходную величину погрешности, выглядит методически некорректной. В предлагаемом исследовании, на основе теоретических положений работы [1], была опробована комплексная методика оценки энергосбережения, включающая не только замеры расхода топлива в рамках стандартных методов испытаний, но и экспериментальное определение температурных полей цилиндра двигателя в режиме прокрутки без сжатия и охлаждения, когда температурное состояние полностью определяется работой сил трения смазываемых деталей цилиндро-поршневой группы (ЦПГ) двигателя. В этом случае вывод о наличии или отсутствии энергосбережения основывали

на очевидном факте: чем ниже температура трения при прочих равных условиях, тем выше энергосберегающие свойства моторного масла.

Цель испытаний заключалась в проверке эффективности методики оценки антифрикционных (энергосберегающих) свойств ряда моторных масел в ходе краткосрочных сравнительных стендовых моторных испытаний.

Объектом испытаний было полусинтетическое моторное масло производства Техасо (США), марка Navoline Energy, вязкостный класс SAE 5W-30, группа эксплуатации API SJ/CF/EC. Энергосберегающие свойства заявлены соответствием сертификатам: API EC, ACEA A1-98/B1-98, ILSAC GF-3. Далее это масло для краткости обозначается как Navoline.

В качестве объектов сравнения использовались полусинтетическое моторное масло — аналог объекта испытаний, торговая марка AGA (Россия), вязкостный класс SAE 5W-30, группа эксплуатации API SJ/CF. Далее обозначается как масло AGA; штатное (рекомендуемое к применению заводом-изготовителем двигателя) минеральное моторное масло М-8ДМ (Россия), вязкостный класс SAE 20W, группа эксплуатации API CD. Обозначение в тексте — М-8ДМ.

Объект испытаний и объект сравнения были выбраны в результате ранее проведенных испытаний гаммы моторных масел (в том числе с заявленными энергосберегающими свойствами) на машине трения [2].

Испытания проводились на одноцилиндровом дизеле воздушного охлаждения ТМЗ-450Д (1С 8,0/8,5), серийно выпускаемом ОАО «АК Туламашзавод». Выбор именно этого типа двигателя в значительной мере был обусловлен высокой чувствительностью быстроходных одноцилиндровых двигателей воздушного охлаждения к качеству применяемых горюче-смазочных материалов. Кроме того, малоразмерный двигатель типа ТМЗ-450Д гораздо лучше приспособлен к частой смене моторного масла и, ввиду незначительного объема заправочной емкости масляного картера, требует меньших расходов смазочного материала. Основные параметры и показатели двигателя приведены ниже:

Количество цилиндров и их расположение.....	1, вертикальное
Ход поршня/диаметр цилиндра, мм .....	80/85
Рабочий объем двигателя, дм <sup>3</sup> .....	0,454
Степень сжатия.....	20
Номинальная частота вращения вала, мин <sup>-1</sup> .....	3600
Номинальная мощность, кВт.....	8 ± 1
Минимальный удельный расход топлива, г/кВт·ч .....	не более 280
Масса сухая без навесных агрегатов, кг .....	55
Емкость системы смазки, л .....	2,5

Испытания моторных масел проводились на моторном стенде, оснащенном специальным оборудованием и необходимыми приборами. Испытательный моторный стенд (рис. 1) включал дизель 1, балансирную машину 2, весовое устройство 3, приборы измерения температуры 4 и 5, а также пульт управления с приборами замера частоты вращения и расхода топлива двигателя.

**Программа и методика проведения работ.** Программа работ включала определение влияния моторного масла на мощностные и экономические показатели дизеля по результатам снятия и обработки внешней скоростной характеристики, нагрузочной характеристики, характеристик механических потерь и холостого хода.

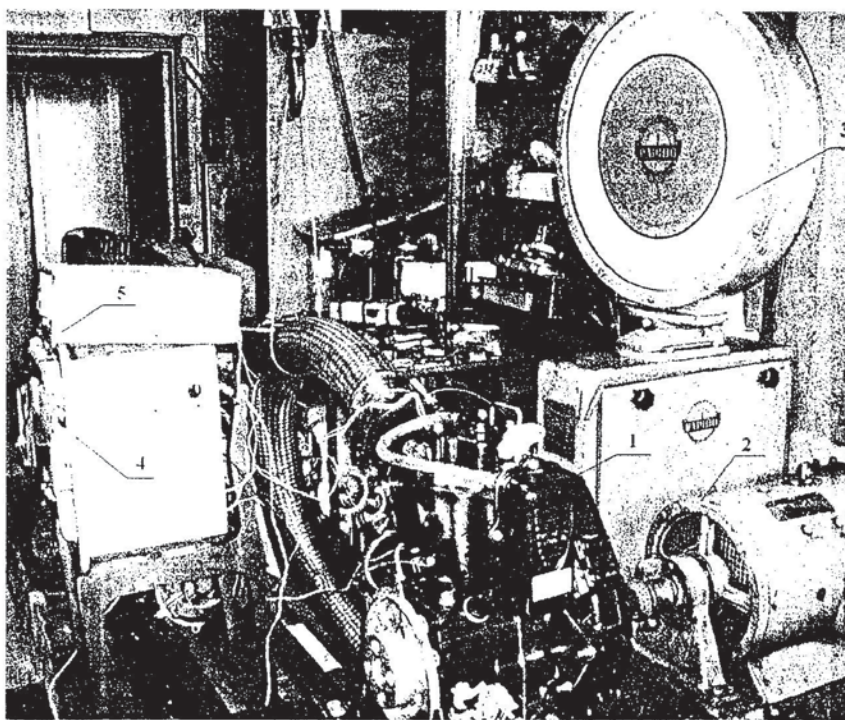


Рис. 1. Моторный стенд с дизелем ТМЗ-450Д

Указанные характеристики снимались в строгом соответствии с действующим ГОСТ 18509-85. При определении механических потерь для повышения достоверности результатов особое внимание уделялось стабильности теплового состояния двигателя в момент замеров. В связи с этим регистрация момента сопротивления и перевод двигателя с одной частоты вращения на другую выполнялись оперативно в течение 15 с за одно отключение подачи топлива.

Антифрикционные свойства моторных масел (энергосбережение) оценивались путем снятия и сопоставления температурных полей цилиндра при прокрутке (без сжатия и охлаждения) для двух объектов сравнения и объекта испытаний на частотах вращения 2800, 3200 и 3600 мин<sup>-1</sup>. Для этого в стенке цилиндра (на расстоянии 1 мм от поверхности) было установлено 12 термопар Х-К, схема расположения которых представлена на рис. 2 и в табл. 1. При проведении данного испытания штатный вентилятор отключался, а сжатие воздуха в цилиндре устранялось удалением форсунки и свечи подогрева в головке цилиндров: в этом случае тепловое состояние цилиндра при прочих равных условиях определялось исключительно тепловыделением от трения в ЦПГ.

Перед проведением каждого испытания двигатель охлаждался внешним вентилятором до уровня температуры окружающего воздуха (контроль вели по температуре масла в масляном картере, которую снижали путем внешнего охлаждения каждый раз до 30°C). После этого двигатель выводили на заданную частоту вращения и выполняли непрерывную запись температур контрольных точек. Сигналом окончания замеров служило достижение стабилизации теплового состояния цилиндра по всем 12 точкам замера (ситуация равенства между количеством подводимого и отводимого тепла трения). Среднее время стабилизации температурного состояния на каждом скоростном режиме при испытаниях масел составило около 15 мин.

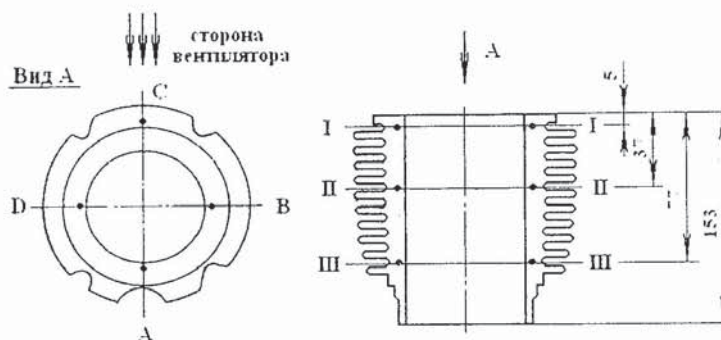


Рис.2. Схема расположения термодатчиков по высоте и окружности стенки цилиндра дизеля ТМЗ-450Д:  
 А-С — плоскость коленчатого вала; В-Д — плоскость качания шатуна; I-I — верхний пояс;  
 II-II — средний пояс; III-III — нижний пояс

Таблица 1

Сравнение показателей двигателя ТМЗ-450Д при работе на различных маслах  $n = 2800 \text{ мин}^{-1}$

Стороны/ пояса цилиндра	Номера контрольных точек			
	A	B	C	D
I - I	1	2	3	4
II - II	5	6	7	8
III - III	9	10	11	12

**Результаты испытаний.** Анализ полученных внешних скоростных характеристик (рис. 3) свидетельствовал о том, что по сравнению со штатным минеральным моторным маслом М-8ДМ применение полусинтетического моторного масла АГА привело к увеличению крутящего момента  $M_k$  и эффективной мощности  $N_e$  дизеля практически во всем скоростном диапазоне в среднем на 1—2 %. При этом максимальное снижение удельного эффективного расхода топлива  $g_e$  из-за повышения эффективной мощности (на скоростном режиме  $2400 \text{ мин}^{-1}$ ) составило  $12 \text{ г/кВт}\cdot\text{ч}$  или 4,5%. Однако на номинальном скоростном режиме ( $3600 \text{ мин}^{-1}$ ) улучшения топливной экономичности при использовании моторного масла АГА вместо М-8ДМ обнаружено не было.

Применение же энергосберегающего моторного масла Navoline вызвало устойчиво наблюдаемое увеличение крутящего момента и мощности дизеля на 3—7 % по всей характеристике. Соответствующее этому улучшение топливной экономичности было получено в диапазоне значений от 10 до  $27 \text{ г/кВт}\cdot\text{ч}$  (от 4 до 10%). Таким образом, масло Navoline подтвердило заявленный уровень энергосбережения (до 9%) по расходу топлива.

Сравнение показателей, приведенных на нагрузочной характеристике двигателя для различных масел на частоте наиболее устойчивой работы  $2800 \text{ мин}^{-1}$ , показало, что по сравнению со штатным моторным маслом М-8ДМ масло АГА в среднем не обеспечило улучшения топливной экономичности; эффект от применения энергосберегающего масла Navoline по сравнению с маслами М-8ДМ и АГА проявился во всем диапазоне нагрузок и выразился в снижении удельного эффективного расхода топлива от 10 до  $22 \text{ г/кВт}\cdot\text{ч}$  или от 4 до 7 %.

Значения мощности механических потерь  $N_m$  и механического к.п.д.  $\eta_m$  дизеля при его работе на масле AGA практически находились на уровне штатного масла М-8ДМ. Применение же масла Navoline привело к снижению мощности механических потерь и соответствующему повышению механического к.п.д. в среднем на 3...4 %.

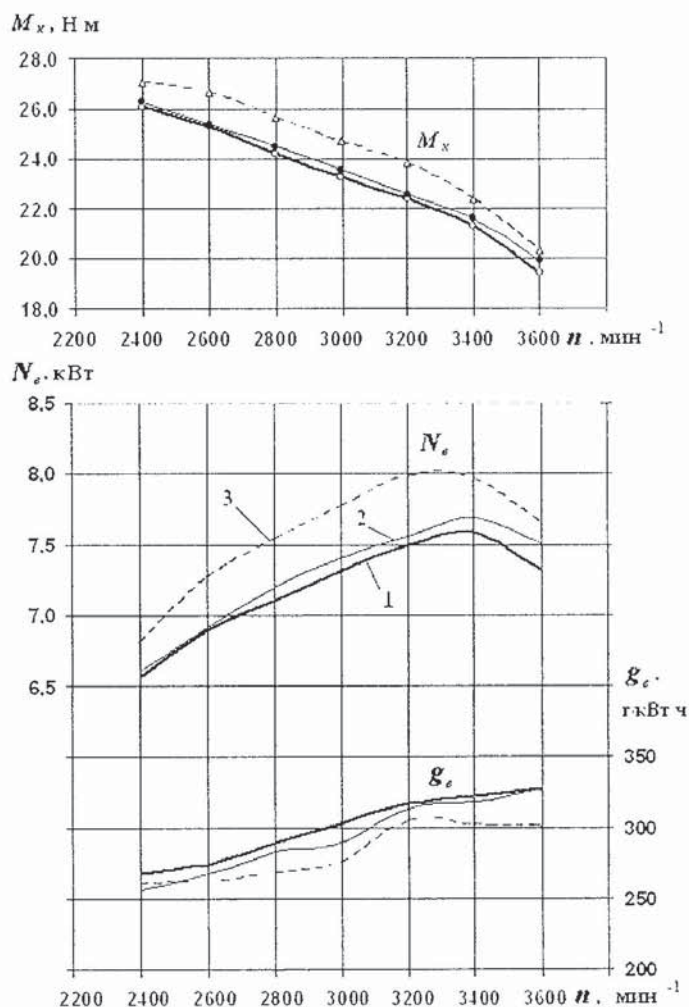


Рис. 3. Внешняя скоростная характеристика дизеля ТМЗ-450Д с различными типами масел: 1 — масло М-8ДМ; 2 — масло AGA; 3 — масло Navoline

Дополнительное подтверждение энергосберегающих свойств масла Navoline было получено в ходе снятия характеристики холостого хода дизеля с различными типами масел. Причем значимая разница расхода топлива на холостом ходу по сравнению со штатным минеральным маслом М-8ДМ (0,1 кг/ч или 8%) в равной степени имела место для обоих полусинтетических масел (AGA и Navoline), но проявилась только в зоне высоких (свыше 3200  $\text{мин}^{-1}$ ) частот вращения двигателя. Такое поведение зависимости расхода топлива от частоты вращения на холостом ходу двигателя при испытаниях моторных масел можно объяснить известным фактом более плавного падения вязкости полусинтетических масел в зависимости от роста температуры по сравнению с минеральными, а также дополнительным действием заявленных в составе масла Navoline модификаторов трения, снижающих механические потери именно в зоне граничного трения, характерного для повышенных температур.

В опытах по определению температурных полей цилиндра  $T$  было получено, что наибольшее тепловыделение от трения по поясам и сечениям цилиндра дало штатное масло М-8ДМ, следом за ним — масло АГА и менее всех — масло Navoline. Характерная форма термограмм по высоте стенки цилиндра, а именно:верху (пояс I-I) более холодная зона, в центре (пояс II-II) и внизу (пояс III-III) — более горячая, может быть объяснена тем, что верхняя часть цилиндра частично охлаждалась всасываемым и выталкиваемым (через отверстия в головке под форсунку и пусковую свечу) воздухом из бокса, а нижняя часть цилиндра получала дополнительный подогрев от масла, подаваемого разбрызгиванием из зазоров вращающегося кривошипа (рис. 4). Как следовало из анализа температурных полей цилиндра, снятых на трех скоростных режимах 2800, 3200 и 3600 мин<sup>-1</sup>, все различия температур трения между сравниваемыми маслами в сходственных точках — значимые, превышающие погрешность измерения ( $\pm 0,9^{\circ}\text{C}$ ). Так, минимальная разница температур трения сравниваемых масел составила  $2^{\circ}\text{C}$ , максимальная была равна  $16^{\circ}\text{C}$ .

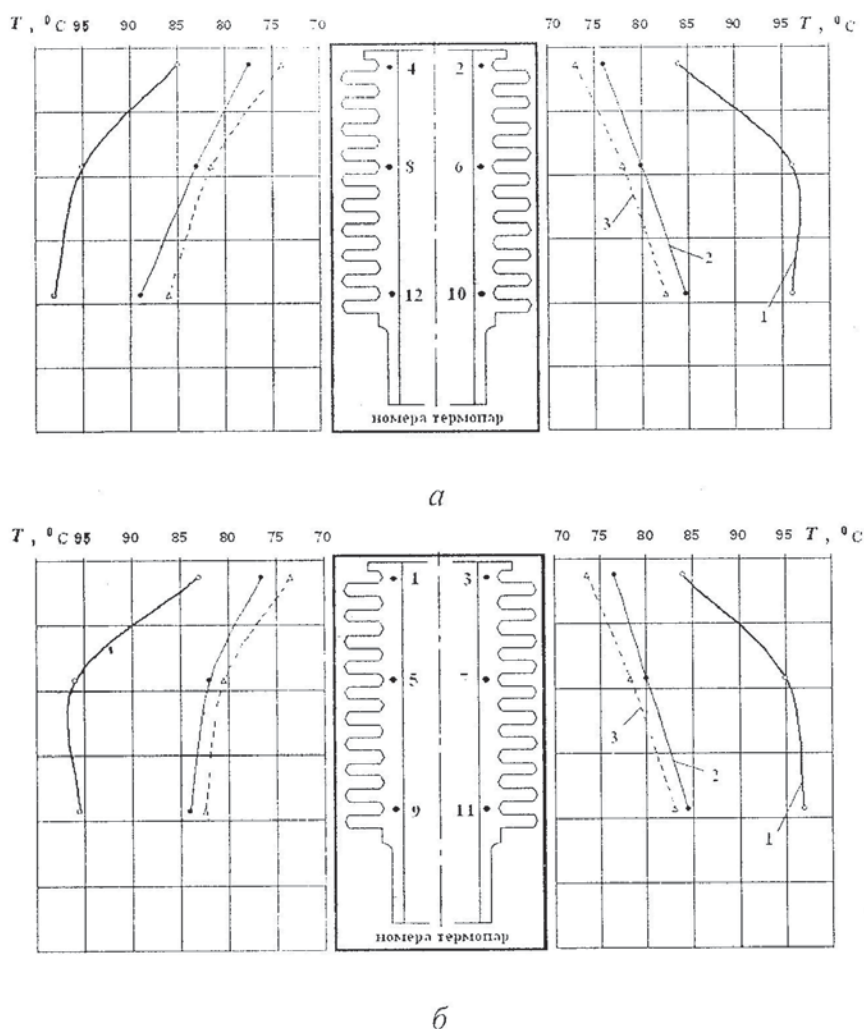


Рис. 4. Температурные поля цилиндра (при прокручивании дизеля без сжатия и охлаждения) при частоте вращения  $n=3200$  мин<sup>-1</sup> в плоскости качания шатуна (а) и в плоскости коленчатого вала (б) с различными типами масел: 1 — масло М-8ДМ; 2 — масло АГА; 3 — масло Navoline

Контроль температуры масла в масляном картере  $T_M$  (термопара на конце масломерного щупа), выполненный с целью получения интегральной характеристики тепловыделения

от трения при испытании масел в режиме прокручивания дизеля без сжатия и сгорания, подтвердил, что масло AGA и, в особенности, Nավoline меньше нагреваются в процессе прокрутки, чем штатное масло М-8ДМ.

Таблица 2

## Сравнение показателей двигателя ТМЗ-450Д при работе на различных маслах

$$n = 2800 \text{ мин}^{-1}$$

Показатель, размерность	Марка моторного масла (номер при испытаниях)			Относительная разница сходственных показателей, %		
	1	2	3	1-2	2-3	1-3
$N_m$ , кВт	3,3	3,2	3,1	3,0	3,1	6,3
$\eta_m$	0,69	0,70	0,71	1,40	1,41	2,90
$g_{с2}$ , г/кВт·ч	289	283	268	2,1	5,3	7,2
$T_c$ , °С*	84	77	73	8,3	5,2	13,1
$T_m$ , °С**	60	56	51	6,7	8,9	15,0

$$n=3200 \text{ мин}^{-1}$$

Показатель, размерность	Марка моторного масла (номер при испытаниях)			Относительная разница сходственных показателей, %		
	1	2	3	1-2	2-3	1-3
$N_m$ , кВт	4,1	4,0	3,9	2,4	2,5	6,1
$\eta_m$	0,65	0,65	0,67	1,50	1,51	3,10
$g_{с2}$ , г/кВт·ч	317	314	305	0,9	2,9	3,8
$T_c$ , °С*	96	81	79	15,6	2,5	17,7
$T_m$ , °С**	77	65	61	15,6	6,2	20,8

$$n=3600 \text{ мин}^{-1}$$

Показатель, размерность	Марка моторного масла (номер при испытаниях)			Относительная разница сходственных показателей, %		
	1	2	3	1-2	2-3	1-3
$N_m$ , кВт	5,1	5,0	4,9	2,0	2,0	3,9
$\eta_m$	0,59	0,60	0,61	1,70	1,71	3,40
$g_{с2}$ , г/кВт·ч	327	325	302	0,6	7,1	7,6
$T_c$ , °С*	101	89	86	11,9	3,4	14,9
$T_m$ , °С**	85	74	71	12,4	4,1	16,5

Примечание: \* — средняя установившаяся температура стенки цилиндра в центральном поясе (при прокручивании двигателя без сжатия и сгорания); \*\* — температура масла в масляном картере при тех же условиях.

Из данных табл. 2, где сравниваются показатели двигателя ТМЗ-450Д при работе по внешней скоростной характеристике и прокручивании (без сжатия и охлаждения), можно сделать следующие выводы:

1. Снижение механических потерь и связанное с ним энергосбережение двигателя при переходе от штатного минерального моторного масла М-8ДМ к полусинтетическому обычному маслу AGA и далее к полусинтетическому энергосберегающему маслу Nավoline

обнаружилось по всем показателям — мощности механических потерь, механическому к.п.д., удельному эффективному расходу топлива, температурам стенки цилиндра и масла в картере.

2. Изменение средних температур, обусловленных трением, удовлетворительно согласуется с изменением механических потерь и экономичности двигателя как при переходе от одного моторного масла к другому, так и при изменении скоростного режима в случае работы на одном типе моторного масла.

3. Значения прямых ( $N_m$ ,  $\eta_m$ ,  $g_c$ ) и косвенных ( $T$ ,  $T_M$ ) показателей энергосбережения сравниваемых моторных масел при увеличении скоростного режима двигателя от 2800 до 3600 мин<sup>-1</sup> слабо нелинейно растут, что в целом отвечает известным тенденции и характеру роста потерь на трение с увеличением скорости и указывает на преимущественно гидродинамический характер трения в ЦПГ данного двигателя.

4. Метод измерения температур стенки цилиндра и масла при прокручивании двигателя (без сжатия и охлаждения) проявил себя более чувствительным (от 2 до 10 раз) к изменению механических потерь, чем стандартные методы прокрутки и расхода топлива: относительное уменьшение механических потерь при переходе от штатного минерального моторного масла М-8ДМ к полусинтетическому обычному маслу АГА и далее к полусинтетическому энергосберегающему маслу Navoline по методу замера температур стенки цилиндра и масла в картере составило (например, на скоростном режиме 3600 мин<sup>-1</sup>) от 11,9 до 16,5%, в то время как по методам прокрутки и замера расхода топлива на этом же режиме — от 0,6 до 7,6%.

Объяснение полученного снижения механических потерь и повышения энергосбережения при смене масел в системе смазки двигателя ТМЗ-450Д можно найти в поведении вязкостно-температурных характеристик (ВТХ), снятых для указанных масел сразу по окончании моторных испытаний.

Из сопоставления ВТХ, представленных на рис. 5, видна различная пологость (перепад значений вязкости в заданном диапазоне температур) кривых для масел: наименьшая — у минерального масла М-8ДМ, наибольшая — у полусинтетического энергосберегающего масла Navoline, промежуточная — у полусинтетического масла АГА. Так, подсчитанная

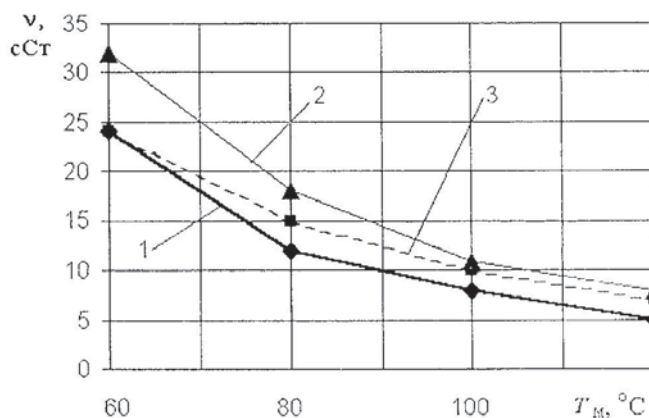


Рис. 5. Вязкостно-температурные характеристики моторных масел: 1 — масло М-8ДМ; 2 — масло АГА; 3 — масло Navoline

разница начального (при  $T_M=60^\circ\text{C}$ ) и конечного (при  $T_M=120^\circ\text{C}$ ) значений кинематической вязкости для сравниваемых масел составила: масло М-8ДМ — 54 сСт, масло АГА — 24 сСт и масло Navoline — 17 сСт. Такое распределение масел по признаку пологости ВТХ



согласуется с их антифрикционными свойствами (гидродинамический режим) и удовлетворительно объясняет результаты, полученные в ходе данных моторных испытаний. А именно: более плавное изменение значения вязкости в зоне повышенных температур (рис. 5) означает поддержание должного уровня гидродинамической несущей способности смазываемых деталей (в первую очередь поршня и колец) и, как следствие, снижение потерь на вязкостное трение. Другая компонента — граничное трение — снижается у энергосберегающих масел в зоне высоких температур за счет действия так называемых модификаторов трения, «работу» которых можно выявить только при постановке специального эксперимента, например, на машинах трения.

### Выводы

1. В ходе проведенных стендовых моторных испытаний отлажена методика комплексной оценки антифрикционных и энергосберегающих свойств моторных масел, включающая снятие типовых характеристик двигателя и температурных полей трения цилиндра (в режиме прокручивания двигателя без сжатия и охлаждения).

2. Полусинтетическое моторное масло Navoline (Texaco Navoline Energy; SAE 5W-30; API SJ/CF/EC) полностью подтвердило заявляемые производителем энергосберегающие свойства (до 9% снижения расхода топлива). Так, по сравнению:

— с рекомендуемым для двигателя ТМЗ-450Д минеральным моторным маслом М-8ДМ применение масла Navoline обеспечивало снижение мощности механических потерь указанного двигателя на 3—6 % и удельного эффективного расхода топлива на 4—10 %;

— с полусинтетическим моторным маслом АГА, являющимся аналогом масла Navoline по вязкостному классу, но не имеющим заявленных производителем энергосберегающих свойств, снижение указанных показателей составило 2—3 % и 3—7 % соответственно.

3. Обнаруженный факт наличия энергосберегающих свойств у моторного масла Navoline был дополнительно проверен и подтвержден результатами замера механических потерь, расхода топлива на холостом ходу двигателя и температурных полей трения цилиндра (при прокручивании двигателя без сжатия и охлаждения): в ходе этих испытаний мощность механических потерь и расход топлива применением масла Navoline вместо М-8ДМ снижены на 3—4 и 8 % соответственно, средняя температура трения в центральном поясе цилиндра получена ниже соответственно на 13—17% (в сравнении с маслом М-8ДМ) и на 2—5 % (в сравнении с маслом АГА).

4. Экспериментально получено, что при прочих равных условиях методы замера температуры цилиндра и масла (при прокручивании двигателя без сжатия и охлаждения) гораздо более (от 2 до 10 раз) чувствительны к изменению механических потерь, тем стандартные методы прокрутки и расхода топлива.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Путинцев С. В., Аникин С. А., Синюгин А. В. Новые подходы к оценке трибологических свойств энергосберегающих моторных масел // Известия вузов. Машиностроение. — № 1. — 2006. — С. 41—48.
2. Путинцев С. В., Пронин М. Д., Точенов М. И. Сравнительное исследование трибологических свойств моторных масел на типовой машине трения // Известия вузов. Машиностроение. — № 12. — 2005. — С. 23—28.