

**К. В. Шаталов, М. Д. Прокопцова, Д. А. Уханов,  
И. Ф. Адгамов**

## **МЕТОД ОЦЕНКИ СКЛОННОСТИ МОТОРНЫХ МАСЕЛ**

### **К ОБРАЗОВАНИЮ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ НА ДЕТАЛЯХ ДИЗЕЛЯ**

*Ключевые слова: моторный метод, низкотемпературные отложения, дизельный двигатель.*

*Надежная и длительная эксплуатация современных дизельных двигателей во многом зависит от качества применяемых моторных масел. При этом масло в дизельном двигателе подвергается действию высоких температур и давлений, вступает в контакт с металлами, а также находится в соприкосновении с отработавшими газами и кислородом воздуха. В результате этого происходит образование различного рода отложений на деталях дизельного двигателя. В зависимости от характера отложений, они условно подразделяются на высокотемпературные (лаки, нагары) и низкотемпературные (осадки). Повышенное образование низкотемпературных отложений в каналах системы смазки, клапанной крышке, картере, на деталях механизма газораспределения, фильтроэлементах, сетке маслоприемника приводит к снижению количества масла, подающегося к наиболее ответственным узлам трения, смазываемым под давлением, и перегреву двигателя. В целом повышенная склонность моторных масел к образованию низкотемпературных отложений существенно снижает ресурс работы. В настоящее время в Российской Федерации утрачены моторные методы для оценки склонности моторных масел к образованию низкотемпературных отложений для дизельных двигателей. В ФАУ «25 ГосНИИИ химмотологии Минобороны России» разработан новый моторный метод оценки склонности моторных масел к образованию низкотемпературных отложений на деталях дизельного двигателя. Показано, что разработанный моторный метод чувствителен к изменению компонентного состава моторного масла - склонность к образованию низкотемпературных отложений снижается при вовлечении базовых масел III и IV группы, а также при уменьшении массовой доли маловязкого компонента в составе базового масла.*

**K. V. Shatalov, M. D. Prokoptsova, D. A. Ukhanov,  
I. F. Adgamov**

## **A METHOD FOR ASSESSING THE PROPENSITY OF MOTOR OILS**

### **TO FORM LOW-TEMPERATURE DEPOSITS ON DIESEL ENGINE PARTS**

*Keywords: motor method, low-temperature deposits, diesel engine.*

*Reliable and long-term operation of modern diesel engines largely depends on the quality of the engine oils used. In this case, the oil in the diesel engine is exposed to high temperatures and pressures, comes into contact with metals, and is also in contact with exhaust gases and oxygen in the air. As a result, various kinds of deposits form on the parts of the diesel engine. Depending on the nature of the deposits, they are conditionally divided into high-temperature (varnishes, deposits) and low-temperature (precipitation). Increased formation of low-temperature deposits in the channels of the lubrication system, valve cover, crankcase, on the details of the valve timing mechanism, filter elements, oil intake grid leads to a decrease in the amount of oil supplied to the most critical friction units lubricated under pressure, and overheating of the engine. In general, the increased tendency of motor oils to form low-temperature deposits significantly reduces the service life. Currently, in the Russian Federation, motor methods for assessing the propensity of motor oils to form low-temperature deposits for diesel engines have been lost. The FAA "25 State Institute of Chemical Biology of the Ministry of Defense of the Russian Federation" has developed a new motor method for assessing the propensity of motor oils to form low-temperature deposits on diesel engine parts. It is shown that the developed motor method is sensitive to changes in the component composition of engine oil, the tendency to form low-temperature deposits decreases with the involvement of base oils of group III and IV, as well as with a decrease in the mass fraction of the low-viscosity component in the base oil.*

### **Введение**

Одним из следствий старения моторного масла является образование низкотемпературных отложений (мазеподобных осадков), накапливающихся на фильтрах, сетках маслоприемников, в картере, клапанной крышке, под передней крышкой двигателя, в шейках коленчатого вала, маслопроводах. Считают, что низкотемпературные осадки представляют наибольшую опасность для двигателя – они могут вызывать засорение сеток приемников, масляных насосов и маслоподводящих каналов, вследствие чего возможны задиры подшипников коленчатого вала, отложения на стержне клапана, а осадки в клапанной крышке могут привести к пригоранию или прогару клапана [1,2].

В течение длительного времени склонность масел к образованию низкотемпературных отложений оценивалась по ГОСТ 20994-75 [3]. Сущность метода заключается в испытании масла на одноцилиндровой карбюраторной установке НАМИ-1М (одноцилиндровый отсек двигателя ЗИЛ-130) в течение 120 часов повторяющимися 8-ми часовыми этапами с последующей оценкой количества низкотемпературных отложений в роторе центробежной масляной центрифуги. Каждый 8-ми часовой этап предусматривает 5 часов работы двигателя на «холодном» режиме (температура воды 20 – 25 °С, температура масла 25 – 35 °С), 2 часа работы двигателя на «горячем» режиме (температура воды 90 °С, температура масла 80 °С) и остановку двигателя на 1 час для охлаждения [3,4]. Необходимо отметить, что «холодный»

режим работы установки НАМИ-1М моделирует условия работы двигателя с отсутствующим (неработающим) термостатом системы охлаждения на малых оборотах и нагрузках [1,2].

Длительные сроки эксплуатации и прекращение выпуска двигателей ЗИЛ-130 и запасных частей к ним обусловили фактическую утрату к настоящему времени моторных установок НАМИ-1М. В связи с практически полным переходом грузового автотранспорта на использование дизельных двигателей, их 100 % оснащение термостатами системы охлаждения карбюраторный моторный стенд НАМИ-1М по условиям применения масла не соответствует современным дизельным двигателям. Поэтому разработка нового метода оценки склонности моторных масел к образованию низкотемпературных отложений является актуальной задачей, имеющей существенное практическое значение [5].

### Теоретическое обоснование метода

Работа по созданию нового метода проводилась в соответствии с методологическими основами разработки методик квалификационных испытаний, изложенными в работах [6,7]. Первым этапом работы была теоретическая проработка модели исследуемого химмотологического процесса, которая включала построение предварительной модели химмото-

логического процесса, обоснование выбора контролируемого параметра химмотологического процесса и способа его оценки.

Предварительная модель процесса образования низкотемпературных отложений в моторных маслах представляет собой его функциональное описание и обобщение сведений обо всех влияющих факторах. Наиболее распространенные дизельные двигатели имеют комбинированную систему смазки с мокрым картером, в которой гильзы цилиндров, поршни, поршневые пальцы, штанги, толкатели, кулачки распределительного вала смазываются разбрызгиванием, остальные узлы трения – под давлением. При эксплуатации дизельного двигателя в номинальном режиме работа моторного масла характеризуется следующими параметрами [8]:

- температура масла в картере 80 – 120°C;
- температура вкладышей шатунных подшипников 150 – 175°C;
- температура центра днища поршня 350 – 400°C;
- температура первой поршневой канавки 280 – 300°C;
- температура поверхностного слоя пленки масла на открытой стенке гильзы цилиндра 130 – 330°C;
- температура газов, прорывающихся в картер 500 – 700°C.

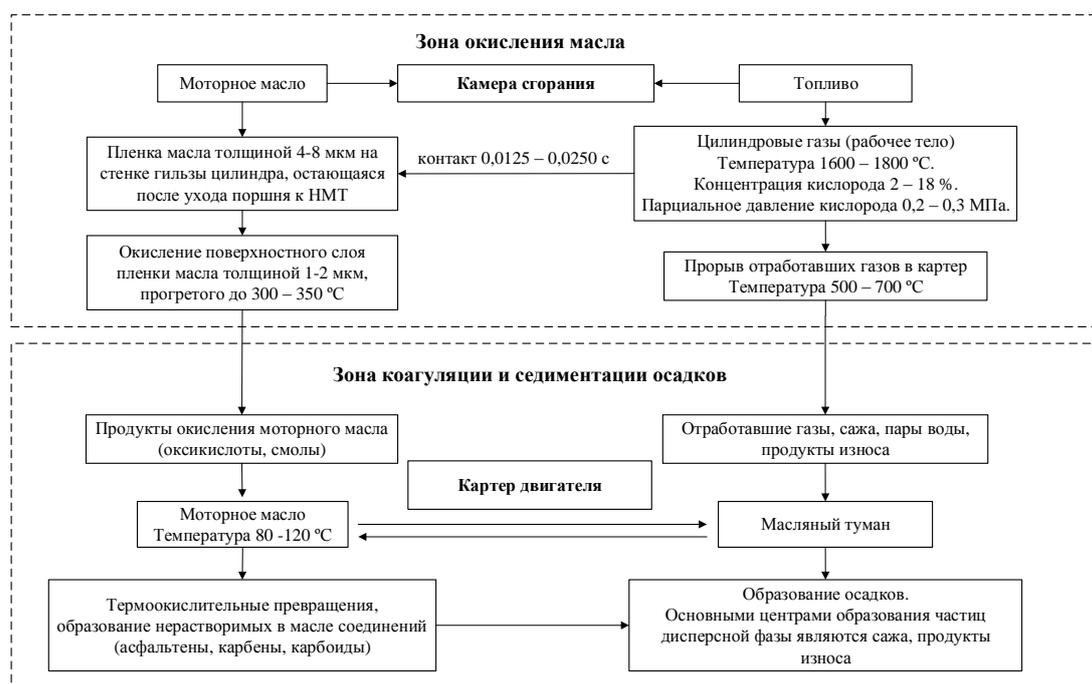


Рис. 1 – Механизм образования низкотемпературных отложений в смазочной системе дизельного двигателя [9]

Fig. 1 – Mechanism of formation of low-temperature deposits in the lubrication system of a diesel engine [9]

Механизм образования низкотемпературных отложений в смазочной системе дизельного двигателя подробно рассмотрен в работе [9] и представлен на рисунке 1. В отличие от ранее существовавших представлений, в работе [9] показано, что основная доля продуктов окисления образуется в пленке масла, находящейся на стенке гильзы цилиндра и контакти-

рующей с раскаленными газами в ходе такта расширения, а образовавшиеся оксикислоты и смолы, попадая в картер, претерпевают там дальнейшие термоокислительные превращения с образованием нерастворимых в масле соединений. При этом основными центрами образования частиц дисперсной фазы являются сажа, попадающая в картер с отработанными газами, и продукты износа деталей двигателя.

Исходя из данного механизма, были определены основные факторы, влияющие на исследуемый процесс образования низкотемпературных отложений в дизельных двигателях (рис. 2).

Нами было определено, что на химмотологический процесс образования низкотемпературных отложений в дизельном двигателе оказывает влияние 58 различных факторов, двадцать семь из которых характеризуют состояние и режимы работы дизельного двигателя. Таким образом, рассмотрение механизма образования низкотемпературных отложений

и факторов, влияющих на него, показывает необходимость создания функциональной модели исследуемого химмотологического процесса на основе дизельного двигателя.

Для обоснования выбора дизельного двигателя были рассчитаны значения различных критериев напряженности работы масла для двадцати наиболее распространенных автотракторных дизелей (табл. 1).

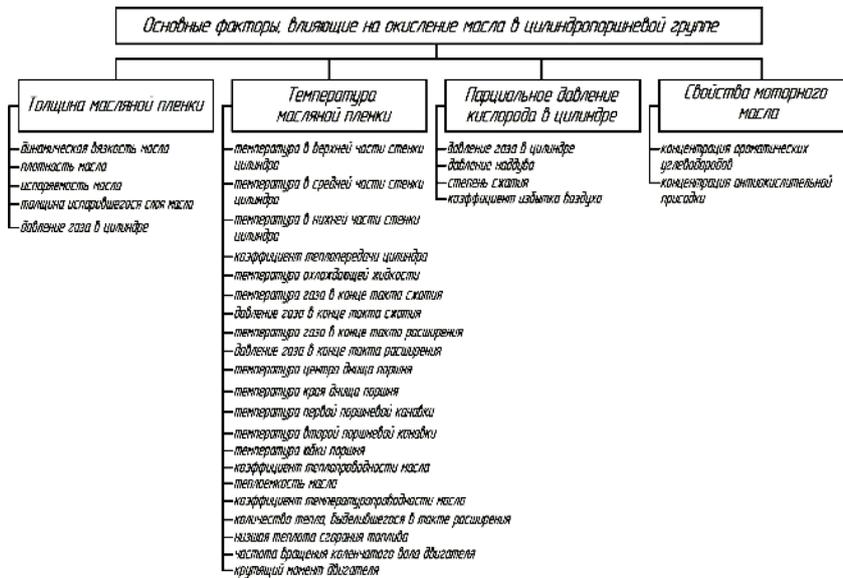


Рис 2 – Основные факторы, влияющие на окисление масла

Fig 2 – Main factors affecting oil oxidation

В работе [10] для сравнения новых двигателей, исходя из их тепловой напряженности, рекомендуется пользоваться условным показателем напряженности работы масла в двигателе (критерием Арабьяна),  $A$ :

$$A = \frac{G_T}{F \cdot i} \cdot \frac{N_e}{G_m} \cdot K_\alpha \cdot K_\beta, \quad (1)$$

где  $G_T = 0,001 \cdot N_e \cdot g_e$  – часовой расход топлива, кг/ч;  $F = \pi \cdot D \cdot (0,5D + S)$  – суммарная площадь рабочих поверхностей зеркала цилиндра, днища поршня, головки цилиндра, м<sup>2</sup>;  $D$  – диаметр цилиндров, м;  $S$  – ход поршня, м;  $i$  – число цилиндров;

$N_e$  – эффективная мощность двигателя, л.с.;  $G_m$  – масса масла в картере двигателя, кг;  $K_\alpha$  – коэффициент, учитывающий состав рабочей смеси, для двигателей без наддува  $K_\alpha = 1$ , для двигателей с наддувом  $K_\alpha = 1,3$ ;  $K_\beta$  – коэффициент, учитывающий способ охлаждения двигателя, для двигателей водяного охлаждения  $K_\beta = 1$ , для двигателей с воздушным охлаждением  $K_\beta = 1,3 - 1,7$ .

Исходя из преобладающей роли в старении масла процесса окисления, происходящего в масляной пленке на деталях цилиндропоршневой группы, другим критерием работы масла в двигателе может быть удельное количество тепла, отводимого маслом ( $Q_{м.уд.}$ , кДж/кг·ч). Известно, что количество тепла, отводимого маслом, составляет 1,5 – 3,0 % от общего

количества теплоты, выделяющейся при сгорании топлива [11].

Тогда, удельное количество тепла, отводимого маслом ( $Q_{м.уд.}$ , кДж/кг·ч), может быть вычислено по формуле:

$$Q_{м.уд.} = \frac{0,03 \cdot Q_0}{G_m} = \frac{0,03 \cdot Q_n \cdot G_T}{G_m}, \quad (2)$$

где  $Q_0$  – общее количество теплоты, выделяющейся при сгорании топлива, кДж/ч;  $Q_n$  – низшая теплота сгорания топлива, кДж/кг;  $G_T$  – часовой расход топлива, кг/ч.

Изучение данных, представленных в таблице 1, показывает, что условия работы масла в дизельном двигателе зависят от его удельной литровой мощности  $N_{уд}$  (отношения эффективной мощности  $N_e$  к рабочему объему двигателя  $V_d$ ). Для двигателей устаревших конструкций с  $N_{уд} < 20$  л.с./л значения критерия Арабьяна находятся в интервале от 498 до 733, а удельное количество тепла, отводимого маслом, составляет от 1771 до 1856 кДж/кг·ч. Для массовых двигателей с удельной литровой мощностью от 20 до 30 л.с./л значения критерия Арабьяна находятся в интервале от 1073 до 1281, а удельное количество тепла, отводимого маслом, составляет от 2085 до 2670 кДж/кг·ч. Для современных двигателей с  $N_{уд} = 30 - 50$  л.с./л значения критерия Арабьяна находятся в интервале от 1792 до 3164, а удельное количество тепла отводимого

Таблица 1 – Критерии напряженности работы моторного масла в современных и перспективных дизельных двигателях

Table 1 – Engine oil stress criteria in modern and advanced diesel engines

Двигатель, экологический класс	$G_T$ , кг/ч	$g_e$ , г/л.с.ч	$F$ , м <sup>2</sup>	$i$	$D$ , м	$S$ , м	$G_m$ , кг	$N_e$ , л.с.	Удельная литровая мощность, л.с./л	Удельная емкость системы смазки, $N_{уд}$ , л.с./кг	Критерий Арабяна, А	Удельное количество тепла, отводимого маслом, $Q_{м.уд}$ , кДж/кг·ч
ЯМЗ-236М2-4 Евро 0	30,06	167	0,0837	6	0,13	0,14	21,6	180	16	8,33	498,7	1771,9
ЯМЗ -238М2 Евро 0	40,56	169	0,0837	8	0,13	0,14	28,8	240	16	8,33	656,0	1793,1
КамАЗ-740.10 Евро 0	36,75	175	0,0679	8	0,12	0,12	25,2	210	19	8,33	733,4	1856,8
КамАЗ-740.65-240 Евро 3	49,68	207	0,0716	8	0,12	0,13	25,2	240	20	9,52	1073,4	2510,0
КамАЗ 740-11-240 Евро 1	49,68	207	0,0679	8	0,12	0,12	25,2	240	22	9,52	1133,0	2510,0
<b>Д-245.12 С Евро 0</b>	<b>20,20</b>	<b>185,3</b>	<b>0,0622</b>	<b>4</b>	<b>0,11</b>	<b>0,125</b>	<b>9,63</b>	<b>109</b>	<b>23</b>	<b>11,32</b>	<b>1194,5</b>	<b>2670,4</b>
КамАЗ-740.70-280 Евро 4	54,46	194,5	0,0716	8	0,12	0,13	27	280	24	10,37	1281,3	2568,1
КамАЗ 740.13-260 Евро 1	53,82	207	0,0679	8	0,12	0,12	27	260	24	9,63	1241,1	2537,9
КамАЗ-740.30-260 Евро 2	53,82	207	0,0679	8	0,12	0,12	27	260	24	9,63	1241,1	2537,9
<b>ЯМЗ-5344 Евро 4</b>	<b>20,64</b>	<b>154</b>	<b>0,0595</b>	<b>4</b>	<b>0,105</b>	<b>0,128</b>	<b>12,6</b>	<b>134</b>	<b>30</b>	<b>10,63</b>	<b>1197,9</b>	<b>2085,2</b>
КамАЗ-910.14-380 Евро 5	50,84	133,8	0,0878	6	0,13	0,15	26,6	380	32	14,29	1792,3	2433,6
Д-245.30 Евро 2	28,98	185,76	0,0622	4	0,11	0,125	10,7	156	33	14,58	2207,4	3448,2
Д-245.35 Евро 3	31,33	184,3	0,0622	4	0,11	0,125	14,2	170	36	11,97	1959,8	2809,2
КамАЗ-740.705-440 Евро 4	85,58	194,5	0,0716	8	0,12	0,13	27	440	37	16,30	3164,0	4035,6
ЯМЗ-653 Евро 5	66,25	157	0,0840	6	0,123	0,156	30,6	422	38	13,79	2355,5	2756,7
ЯМЗ-5361 Евро 4	43,96	157	0,0595	6	0,105	0,128	20,25	280	42	13,83	2211,9	2763,9
КамАЗ-910.10-550 Евро 5	73,59	133,8	0,0878	6	0,13	0,15	38,5	550	46	14,29	2594,1	2433,6
ЯМЗ-53403 Евро 5	32,97	157	0,0595	4	0,105	0,128	12,6	210	47	16,67	2999,4	3331,5
ЯМЗ-780 Евро 4	123,75	165	0,0903	6	0,13	0,156	32,4	750	60	23,15	6876,5	4862,9
ЯМЗ-5367 Евро 4	73,12	162,5	0,0619	6	0,105	0,135	20,25	450	64	22,22	5692,5	4597,7

маслом составляет от 2433 до 4035 кДж/кг·ч. Для перспективных двигателей с удельной литровой мощностью более 60 л.с/л условия работы масла резко ужесточаются – средние значения критерия Арабяна и удельного количества тепла отводимого маслом увеличиваются в 1,5 – 2 раза и составляет 6285 и 4730 кДж/кг·ч соответственно.

Исходя из напряженности работы масла, можно разделить дизельные двигатели на четыре основные группы:

- двигатели устаревших конструкций с  $N_{уд} < 20$  л.с./л (ЯМЗ-236, ЯМЗ-238, КамАЗ-740.10 и др.);

массовые двигатели с  $N_{уд}$  от 20 до 30 л.с./л (КамАЗ-740.65-240, КамАЗ-740.13-260, ЯМЗ-5334, Д-245.12С и др.);

- двигатели современной конструкции с  $N_{уд}$  от 30 до 50 л.с./л (КамАЗ-910.14-380, КамАЗ-740.705-440, ЯМЗ-653, Д-245.35 и др.);

- перспективные двигатели большой литровой мощности с  $N_{уд} > 60$  л.с./л (ЯМЗ-780, ЯМЗ-5367 и др.).

При выборе конкретной марки двигателя в качестве основы для создаваемой функциональной модели процесса образования низкотемпературных от-

ложений в моторных маслах основывались на критериях, позволяющих минимизировать затраты на изготовление и последующую эксплуатацию:

- двигатель и запасные части к нему должны серийно изготавливаться в Российской Федерации;
- двигатель должен иметь минимально возможную мощность и число цилиндров.

Указанным критериям соответствуют два четырехцилиндровых двигателя: Д-245.12С мощностью 109 л.с. и ЯМЗ-5334 мощностью 134 л.с. При выборе из этих двух двигателей были учтено, что они имеют практически равные значения критерия Арабяна (1194,5 и 1197,9 соответственно), но двигатель Д-245.12С характеризуется большей напряженностью работы масла - удельное количество тепла, отводимого маслом, в двигателе Д-245.12С составляет 2670,4 кДж/кг·ч, а в двигателе ЯМЗ-5344 – 2085,2 кДж/кг·ч (меньше на 28 %).

Таким образом, исходя из условия минимизации затрат на изготовление и последующую эксплуатацию, в качестве основы функциональной модели процесса образования низкотемпературных отложений моторными маслами был выбран рядный четырехцилиндровый дизельный двигатель Д-245.12С рабочим объемом 4750 см<sup>3</sup> с турбонаддувом и традиционной системой впрыска топлива на основе ТНВД с механическим регулятором. Данный двигатель обеспечивает подобие процессов образования отложений с дизельными двигателями, имеющими удельную литровую мощность в интервале от 16 до 50 л.с./л. Так как удельное количество тепла, отводимого маслом, в двигателе Д-245.12С (2670,4 кДж/кг·ч) практически соответствует среднему значению удельного количества тепла, отводимого маслом, в двигателях с удельной мощностью от 16 до 50 л.с./л (2563,8 кДж/кг·ч).

С учетом построения функциональной модели на основе двигателя Д-245.12С и опыта исследования процесса образования низкотемпературных отложений моторными маслами [1,3,4] в качестве контролируемого был выбран параметр, характеризующий результат исследуемого химмотологического процесса, – масса отложений на фильтроэлементе. На основании механизма процесса образования низкотемпературного осадка и сведений о влияющих факторах, были выбраны способы повышения интенсивности образования низкотемпературных отложений в моторном масле и сокращения продолжительности испытаний:

- дополнительная регулируемая подача части отработавших газов в масляный картер двигателя (позволяет моделировать работу двигателя с различной степенью износа деталей цилиндропоршневой группы);
- насыщение масла, находящегося в картере двигателя, воздухом.

### Создание функциональной модели

Исходя из представленного теоретического обоснования, выбранного контролируемого параметра и способов повышения интенсивности исследуемого процесса было осуществлено изготовление функцио-

нальной модели процесса образования низкотемпературных отложений моторными маслами путем модернизации конструкции известного моторного стенда Д-245, используемого для оценки моющих свойств моторных масел с конца 80-х годов. В ходе модернизации были выполнены следующие работы: замена изношенного двигателя Д-245 (тракторная версия) на новый двигатель Д-245.12С (автомобильная версия); разработка и монтаж систем охлаждения стенда Д-245, подачи воздуха и отработавших газов в масляный картер двигателя; установка центробежного масляного фильтра (центрифуги) вместо масляного фильтра с бумажным фильтрующим элементом. При модернизации моторного стенда Д-245 были получены новые научные и технические решения, защищенные тремя патентами РФ № 2707787, № 2758740 и № 2804375 [12-14].

На рисунке 3 представлен общий вид модернизированного моторного стенда Д-245.



1 – дизельный двигатель Д-245.12С; 2 – динамометрическая машина; 3 – весовая головка

**Рис. 3 – Общий вид модернизированного моторного стенда Д-245**

**Fig. 3 – General view of the modernized engine stand D-245**

### Описание метода

На базе модернизированного моторного стенда Д-245 разработан новый метод оценки склонности моторных масел к образованию низкотемпературных отложений [15]. Сущность разработанного метода оценки склонности моторных масел к образованию низкотемпературных отложений заключается в гравиметрическом определении количества низкотемпературных отложений, накопленных в моторном масле за время испытаний.

Испытания моторного масла включают 10 циклов работы дизельного двигателя Д-245.12С на режимах, указанных в таблице 2. Общая продолжительность испытаний составляет 75 час. Цикл испытания включает 6 часов работы двигателя на режимах, моделирующих условия работы двигателя с повышенным износом цилиндропоршневой группы и 1,5 часа аэрации моторного масла в картере двигателя принудительно подаваемым воздухом. На режиме полной

нагрузки осуществляется подача части отработавших газов в количестве 60 л/мин в масляный картер двигателя для ускорения образования низкотемпературных отложений. Подаваемая часть отработавших газов направляется в трубку щупа уровня моторного масла. Количество подаваемых отработавших газов регулируется ротаметром.

После работы двигателя в режиме полной нагрузки в течение 160 мин осуществляется перевод на режим холостого хода для его охлаждения в течение 10 мин и затем остановка дизеля на 90 мин для охлаждения моторного масла. Во время остановки двигателя в течение 90 мин осуществляется подача воздуха в его масляный картер.

**Таблица 2 – Основные параметры и режимы проведения испытаний при оценке склонности моторных масел к образованию низкотемпературных отложений**

**Table 2 – Main parameters and test modes for evaluating the propensity of engine oils to form low-temperature deposits**

Режим работы двигателя	Расход топлива, кг/ч	Частота вращения коленчатого вала, мин <sup>-1</sup>	Температура охлаждающей жидкости, °С	Температура моторного масла в картере двигателя, °С	Продолжительность испытаний, мин
Пуск и прогрев	3	1200		-	
Режим полной нагрузки	15	2000	85	90	160
Холостой ход	3	1200	60	70	10
Остановка двигателя и подача воздуха в масляный картер	-	0		-	
Пуск и прогрев	3	1200		-	
Режим полной нагрузки	15	2000	85	90	160
Холостой ход	3	20	60	70	10



**Рис. 4 – Общий вид внутренней поверхности стакана ротора центробежного маслоочистителя двигателя Д-245.12С**

**Fig. 4 – General view of the inner surface of the rotor cup of the centrifugal oil cleaner of the D-245.12C engine**

После окончания испытаний двигатель частично разбирают, снимая стакан ротора центробежного масляного фильтра, клапанную крышку, крышку головки цилиндров двигателя и картер двигателя. Ви-

зуально оценивают сетку маслозаборника и дно картера двигателя. Стакан ротора центробежного маслоочистителя с отложениями взвешивают на технических весах с погрешностью не более 1,0 г (рис. 4).

### Результаты и их обсуждение

Влияние компонентного состава моторного масла на значение оцениваемого показателя проводили с использованием загущенных (М-5з/16Д<sub>2</sub> и М-4з/14Д) и незагущенных (М-10Г<sub>2</sub>ж и М-14Г<sub>2</sub>ж) моторных масел различного состава. Установлено, что разработанный метод чувствителен к изменению компонентного состава моторного масла, в первую очередь к изменению состава базового масла (таблица 3). Максимальное количество отложений на фильтроэлементе масляной системы зафиксировано в моторном масле, изготовленном на основе смеси масел I группы по API, в которой содержание маловязкого компонента составляло 76 % (образец № 1).

Минимальное количество – в моторном масле, изготовленном на основе смеси масел I и III группы по API, в которой содержание маловязкого компонента составляло 59 % (образец № 6). Из данных, представленных в таблице 3, следует, что снижению склонности моторных масел к образованию низкотемпературных отложений способствует вовлечение базовых масел III и IV группы, а также снижение массовой доли маловязкого компонента в составе базового масла.

Таблица 3 – Склонность моторных масел различного состава к образованию низкотемпературных отложений

Table 3 – Tendency of engine oils of different compositions to form low-temperature deposits

Шифр образца	Состав масла				Масса отложений, г
	Базовое масло (содержание маловязкого и остаточного компонента, % масс)	Содержание присадок, % масс			
		моюще-диспергирующие	антиокислительные	загущающие	
<i>незагущенные масла группы Г</i>					
образец № 1	смесь масел I группы по API (74 % и 26 %)	4,1	1,2	-	109
образец № 2	смесь масел I группы по API (66 % и 34 %)	2,4	1,2	-	105
образец № 3	смесь масел I группы по API (44 % и 46 %)	4,3	0,7	-	75
<i>загущенные масла группы Д</i>					
образец № 4	смесь масел I и IV группы по API (82 % и 18 %)	9,2	1,5	1,7	75
образец № 5	смесь масел I и III группы по API (70 % и 30 %)	8,5	0,49	4,0	55
образец № 6	смесь масел I и III группы по API (59 % и 41 %)	8,5	0,30	2,0	32

Разработанный метод оценки склонности моторных масел к образованию отложений в смазочной системе рекомендуется к использованию в ходе классификационных и приемочных испытаний новых и модернизированных масел взамен утраченного метода по ГОСТ 20994-75.

Разработка нового метода оценки склонности моторных масел к образованию отложений в смазочной системе являлась сложной научно-технической задачей, в ходе решения которой были получены следующие результаты.

На основании изучения механизма образования низкотемпературных отложений в смазочной системе дизельного двигателя, были определены влияющие факторы и предложено использовать в качестве критерия напряженности работы моторного масла удельное количество тепла, отводимое маслом. С использованием известных и предложенных критериев была проанализирована напряженность работы моторного масла в наиболее распространенных автотракторных дизельных двигателях и показано, что тепловая нагрузка на масло в двигателе Д-245.12С является характерной для большой группы современных дизелей, имеющих удельную литровую мощность в интервале от 16 до 50 л.с./л. Усовершенствована конструкция моторного стенда Д-245, позволяющая создать оптимальные условия для склонности моторных масел к образованию низкотемпературных отложений.

Разработан новый метод оценки склонности моторных масел к образованию низкотемпературных отложений, взамен морально устаревшего и физически утраченного метода по ГОСТ 20994-75. Новизна технических и научных решений, полученных при этом подтверждена четырьмя патентами РФ на изобретение.

Показано, что метод чувствителен к изменению компонентного состава моторного масла - склонность к образованию низкотемпературных отложений снижается при вовлечении базовых масел III и IV группы, а также при уменьшении массовой доли маловязкого компонента в составе базового масла.

### Литература

1. К.К. Папок, А.Б. Виппер, Нагары, лаковые отложения и осадки в автомобильных двигателях, Машгиз, Москва, 1956. 156 с.
2. С.Э. Крейн, Ю.С. Заславский, Н.П. Войнов, *Смазочное масло и двигатель*, Гостоптехиздат, Москва, 1952. 200 с.
3. ГОСТ 20994-75 Масла моторные. Метод оценки склонности масел к образованию низкотемпературных отложений, Издательство стандартов, Москва, 1986. 23 с.
4. М.А. Григорьев, Б.М. Бунаков, Р.Г. Зеленская, Е.И. Чесалин, В.П. Мартынов, В сб. *Новые методы испытания моторных масел*. Вып. XXV. ЦНИИТЭНЕФТЕХИМ, Москва, 1977. С. 50 – 61.
5. М.Д. Прокопцова, К.В. Шаталов, Д.А. Уханов, *Двигателестроение*, **3**, 21-27 (2020).
6. К.В. Шаталов, С.Н. Волгин, Е.П. Серегин, *Труды 25 ГосНИИ МО РФ*, **61**, 241 – 256 (2023).
7. К.В. Шаталов, С.Н. Волгин, Е.П. Серегин, *Технологии нефти и газа*, **6**, 49-56 (2022).
8. А.А. Александрова, Н.А. Иващенко, *Машиностроение. Энциклопедия*. Т. IV-14. Машиностроение, Москва, 2013. 784 с.
9. К.В. Шаталов, М.Д. Прокопцова, С.Н. Волгин, *Нефтепереработка и нефтехимия*, **11-12**, 38-43 (2023).
10. А.Л. Чудиновских, Б.П. Тонконогов, В.Л. Лашхи, *Моторное масло как важный объект химмотологии*, Издательский дом Недр, Москва, 2014. 223 с.
11. А.И. Колчин, В.П. Демидов, *Расчет автомобильных и тракторных двигателей*, Высшая школа, Москва, 1980. 400 с.
12. Пат. Рос. Федерация, 2707787 (2021).
13. Пат. Рос. Федерация 2758740 (2021).
14. Пат. Рос. Федерация 2804375 (2023).
15. Пат. Рос. Федерация 2724330 (2020).

## References

1. K.K. Papok, A.B. Wipper, *Fouling, varnish deposits and sediments in automobile engines*, Mashgiz, Moscow, 1956. 156 p.
2. S.E. Crane, Y.S. Zaslavsky, N.P. Voinov, *Lubricating Oil and Engine*, Gostoptekhizdat, Moscow, 1952. 200 p.
3. GOST 20994-75 *Motor oils. Method for estimating the propensity of oils to form low-temperature deposits*, Standards Publishing House, Moscow, 1986. 23 p.
4. M.A. Grigoriev, B.M. Bunakov, R.G. Zelenskaya, E.I. Chesalin, V.P. Martynov, Vb. *New Methods of Testing Motor Oils*, Vol. XXV. CNIITENEFTEKHIM, Moscow, 1977. P. 50 - 61.
5. M.D. Prokoptsova, K.V. Shatalov, D.A. Ukhanov, *Engine Engineering*, **3**, 21-27 (2020).
6. K.V. Shatalov, S.N. Volgin, E.P. Seregin, *Proceedings of the 25th State Research Institute of the Defense Ministry of the Russian Federation*, **61**, 241 - 256 (2023).
7. K.V. Shatalov, S.N. Volgin, E.P. Seregin, *Oil and Gas Technology*, **6**, 49-56 (2022).
8. A.A. Aleksandrova, N.A. Ivashchenko, *Mashinostroenie. Encyclopedia*. VOL. IV-14. Mashinostroenie, Moscow, 2013. 784 p.
9. K.V. Shatalov, M.D. Prokoptsova, S.N. Volgin, *Neftepererabotka i neftekhimiya*, **11-12**, 38-43 (2023).
10. A.L. Chudinovskikh, B.P. Tonkonogov, V.L. Lashkhi, *Motor oil as an important object of chemotology*, Nedra Publishing House, Moscow, 2014. 223 p.
11. A.I. Kolchin, V.P. Demidov, *Calculation of automobile and tractor engines*, Higher School, Moscow, 1980. 400 p.
12. Pat. Rus. Federation, 2707787 (2021).
13. Pat. Rus. Federation 2758740 (2021).
14. Pat. Rus. Federation 2804375 (2023).
15. Pat. Rus. Federation 2724330 (2020).

---

© **К. В. Шаталов** – канд. техн. наук, доцент, начальник отдела Квалификационной оценки топлив и масел (КОТМ), ФАУ «25 ГосНИИ химмотологии Минобороны России», Москва, Россия; **М. Д. Прокопцова** – научный сотрудник отдела КОТМ, ФАУ «25 ГосНИИ химмотологии Минобороны России», maridmitrieva92@mail.ru; **Д. А. Уханов** – доктор. техн.наук, профессор, ведущий научный сотрудник отдела КОТМ, ФАУ «25 ГосНИИ химмотологии Минобороны России»; **И. Ф. Адгамов** – канд.техн.наук, старший научный сотрудник отдела КОТМ, ФАУ «25 ГосНИИ химмотологии Минобороны России».

© **K. V. Shatalov** – PhD (Technical Sci.), Associate Professor, Head of the department of Qualification Assessment of Fuels and Oils (QAFO), FAA "25 State Research Institute of Chemical Biology of the Ministry of Defense of the Russian Federation", Moscow, Russia; **M. D. Prokoptsova** – Researcher, the QAFO department, FAA "25 State Research Institute of Chemical Biology of the Ministry of Defense of the Russian Federation", maridmitrieva92@mail.ru; **D. A. Ukhanov** – Doctor of Sciences (Technical Sci.), Professor, Leading Researcher, the QAFO department, FAA "25 State Research Institute of Chemical Biology of the Ministry of Defense of the Russian Federation"; **I. F. Adgamov** – PhD (Technical Sci.), Senior Researcher, the QAFO department, FAA "25 State Research Institute of Chemical Biology of the Ministry of Defense of the Russian Federation".