

УДК 629.7.036: [620.178:662.75]

## ПРОБЛЕМА ОЦЕНКИ ПРОТИВОИЗНОСНЫХ СВОЙСТВ СОВРЕМЕННЫХ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ РЕАКТИВНЫХ ТОПЛИВ

Н.М. ЛИХТЕРОВА, К.В. ШАТАЛОВ, В.В. КОНДРАТЕНКО, Д.Ф. БАЕВСКИЙ

В статье приводятся результаты сравнительной оценки противоизносных свойств отечественных реактивных топлив различного компонентного состава. Показано, что необходимо проведение исследований с целью установления браковочных норм на показатели смазывающей способности топлив по методу VOCLÉ (ГОСТ Р 53715).

**Ключевые слова:** реактивные топлива, противоизносные свойства, метод.

В топливных системах авиационных газотурбинных двигателей (ГТД) для подачи топлива в камеры сгорания и агрегаты системы управления широко применяются плунжерные насосы.

В плунжерных насосах топливо служит смазывающей средой и оказывает существенное влияние на скорость изнашивания пар трения насосов, их надежность и долговечность. Принято считать, что необходимый уровень противоизносных свойств топлива гарантируется технологией производства, и лабораторная оценка смазывающей способности проводится только для опытно-промышленных партий топлива в рамках квалификационных испытаний. Отечественные нормативно-технические документы (НТД) не содержат требований к уровню противоизносных свойств топлив для реактивных двигателей<sup>1</sup>, соответственно контроль смазывающей способности для промышленно выпускаемой продукции не проводится [1].

Такое состояние дел с оценкой противоизносных свойств противоречит отечественной практике производства топлив для реактивных двигателей. По данным ВНИИ НП на 22 из 28 российских нефтеперерабатывающих заводов (НПЗ) при изготовлении топлив для реактивных двигателей используют гидроочищенные керосиновые фракции с низким уровнем противоизносных свойств, в общем объеме производства примерно 54% топлив (или 5,5 млн. т) содержат гидроочищенные фракции. Для компенсации низкого уровня противоизносных свойств в гидроочищенные керосиновые фракции вносят противоизносную присадку ДНК или Хайтек-580.

Широкое использование процессов гидроочистки керосиновых фракций на российских НПЗ, и как следствие, снижение концентрации природных поверхностно-активных веществ в топливе ставит вопрос о необходимости лабораторной оценки противоизносных свойств не только для опытно-промышленных партий, но и для каждой промышленно выпускаемой партии топлива для реактивных двигателей, т.е. о необходимости включения в отечественные НТД показателя качества «смазывающая способность». Для этого необходимо ответить на следующие вопросы:

- каким методом контролировать величину противоизносных свойств топлива;
- какие нормы по смазывающей способности для отечественных топлив для реактивных двигателей следует установить.

Известно 6 методов оценки противоизносных свойств топлив для реактивных двигателей (табл. 1).

<sup>1</sup>Исключение составляет ГОСТ Р 52050-2006 «Топливо авиационное для газотурбинных двигателей Джет А-1 (Jet A-1). Технические условия», который является переводом стандарта ASTM D 1655-2006.

Таблица 1

Основные характеристики методов оценки противоизносных свойств реактивных топлив

Метод, установка (прибор)	Пары трения	Вид трения	Удельная нагрузка, МПа	Скорость скольжения, м/с
Отечественные				
Установка НР-21Ф2	Шар Ø12,7 мм; наклонная шайба	Качения + Скольжения	0,28-0,36	2,40
Прибор УПС-01	Шар Ø25,4 мм; плоский диск	Скольжения	830	1,18
Установка ПСТ-2	Шар Ø40,0 мм; коническая шайба	Качения + Скольжения	1960	0,34
Зарубежные				
Метод ВОСЛЕ	Шар Ø12,7 мм; цилиндр Ø44,5 мм	Скольжения	565	0,50
Метод Лукаса	Штифт Ø1 мм; диск Ø120 мм	Скольжения	0,82	0,40
Метод TAFLE	Цилиндры Ø50,0 мм	Скольжения	43-612	0,52

В стендовом методе ВНИИ НП для оценки противоизносных свойств топлив используется насос-регулятор НР 21Ф2 двигателя Р11Ф-300 самолета МиГ-21, в котором в плунжеры, движущиеся по наклонной шайбе, установлены шары. Испытуемое топливо прокачивается через полость контрольного узла трения на проток. Оценочным показателем метода является среднее арифметическое диаметров пятна износа трех контрольных шаров. В настоящее время указанный стенд не функционирует ввиду необходимости значительных материальных и временных затрат на проведение испытаний (например, для одного цикла испытаний требуется около 120 т топлива и новый насос-регулятор).

В приборе УПС-01 в качестве пары трения применяется вращающийся плоский диск и три шара, неподвижно закрепленные в оправке. Пара трения помещена в герметичную топливную камеру. В приборе имеется возможность изменять нагрузку на пару трения. Противоизносные свойства топлив характеризует обобщенный показатель, рассчитываемый по определенной формуле, в которой учитываются диаметр пятна износа шаров, определяемый при заданной нагрузке, и критическая нагрузка перехода к схватыванию.

Анализ корреляции результатов определения противоизносных свойств образцов реактивных топлив на установке с модифицированным насосом-регулятором НР-21Ф2 и приборе УПС-01 с результатами испытаний этих топлив на серийном насосе-регуляторе свидетельствует о неравномерной чувствительности указанных методов при оценке топлив с разным уровнем противоизносных свойств.

Пара трения в установке ПСТ-2 (разработанной в 25 ГосНИИ МО РФ) следующая: плунжер (или шар), закрепленный в оправке, и вращающаяся коническая шайба. Отличительной особенностью этой пары трения является возможность вращения оправки относительно своей оси, расположенной перпендикулярно оси вращения конической шайбы. В установке предусмотрено периодическое притормаживание оправки, обеспечивающее изменение соотношения между скольжением и качением в зоне контакта деталей пары трения аналогично тому, как это имеет место в зоне контакта плунжера и наклонной шайбы (или подпятника) насоса-регулятора при смене режимов его работы. Показатель противоизносных свойств в методе определяется как

отношение пятна износа плунжера (шара) на испытуемом топливе к пятну износа на контрольном топливе. Основным недостатком метода является его недостаточная повторяемость (сходимость) вследствие ряда конструктивных недостатков, связанных в основном со сложностью восстановления заданной геометрии плунжера и конической шайбы после испытания [2].

В методе Лукаса моделируются рабочие условия в аксиальном поршневом насосе, в котором не обеспечивается нормальная смазка. В процессе испытания стержень из алюминиевой бронзы трется о диск из инструментальной стали. Испытание проводится при смазке в «режиме голодания». В течение испытательного цикла на вращающемся стальном диске образуется тонкая пленка топлива; к диску прижимается бронзовый стержень и производится замер фрикционного усилия. Количество оборотов диска, совершенное для получения заданного уровня фрикционного усилия, называют «индекс останова» (dwellnumber). Следует отметить, что «индекс останова» определяется главным образом испаряемостью топлива, и, например, если в топливо добавить небольшую концентрацию высококипящих *n*-алканов – «индекс останова» повысится, но на смазывающие свойства топлива это не окажет существенного влияния [3].

Метод TAFLE разработан в Торнтонском испытательном центре фирмы «Шелл». В испытании используются два образца. Верхний образец неподвижен, он устанавливается на нижний, который вращается с частотой 200 об/мин. (при скорости скольжения 0,52 м/с), что обеспечивает реализацию условий линейного контакта зубьев шестерен шестеренчатого насоса. Образцы находятся в камере, через которую непрерывно пропускается топливо, что позволяет избежать протекания в нем процессов окисления. Метод заключается в воспроизведении серии возрастающих нагрузок в пределах от 1 до 200 кгс в течение 15 мин. на каждую ступень нагрузки, при которых измеряется коэффициент трения, до тех пор, пока не будут достигнуты максимальный задира или максимально допустимая нагрузка. При каждой новой ступени нагрузки верхний образец поворачивается на 5°. В конце испытания производится измерение пятна износа и строятся графики в виде зависимостей коэффициента трения и ширины пятна износа от нагрузки. Разрушительная фрикционная нагрузка, определяемая как нагрузка, при которой коэффициент трения достигает значения 0,4, позволяет хорошо отличать одно топливо от другого. Однако при добавлении присадок в топливо с низкими смазывающими свойствами увеличение максимальной нагрузки задира не всегда такое значительное, как можно было бы ожидать. Ширина пятна износа позволяет отличать друг от друга малосернистые топлива с низкими смазывающими свойствами, а также топлива с присадкой для повышения смазывающих свойств и без нее. Однако некоторые топлива с высокими смазывающими свойствами тоже характеризуются большим износом верхнего цилиндра [4].

В метод BOCLE неподвижный стальной шарик диаметром 0,5 дюйма прижимается к вращающемуся цилиндру, смазываемому тонкой пленкой топлива при постоянных условиях нагрузки, скорости скольжения, температуры и влажности. Смазывающие свойства оцениваются по пятну износа на испытуемом шаре. Достоинствами метода являются хорошие сходимость и воспроизводимость. Данный метод широко применяется за рубежом для контроля смазывающей способности авиационных топлив и на него разработан стандарт ASTM D 5001. В России с 1 января 2011 г. введен в действие ГОСТ Р 53715 «Топлива авиационные для газотурбинных двигателей. Метод определения смазывающей способности на аппарате шар-цилиндр (BOCLE)», идентичный стандарту ASTM D 5001-2008 [5].

Метод BOCLE имеет наибольшие шансы для широкого внедрения в отечественную лабораторную практику. Однако этому должны предшествовать исследования по обоснованию норм смазывающей способности для отечественных топлив для реактивных двигателей по методу BOCLE. В силу различия в составе отечественных и зарубежных авиакеросинов механический перенос требований зарубежных спецификаций к уровню противоизносных свойств является неприемлемым.

Для обоснования норм смазывающей способности для отечественных топлив для реактивных двигателей по методу ВОСЛЕ в 2010-2013 гг. проведены исследования уровня противоизносных свойств современных отечественных ТРД на аппарате ВОС-100 (США) по ГОСТ Р 53715-2009 и на приборе ПСТ-2 по СТО 08151164-033-2010 «Топлива для реактивных двигателей. Метод определения противоизносных свойств на приборе ПСТ-2». Всего было испытано 33 образца товарных топлив и их компонентов (табл. 2, 3).

**Таблица 2**

Сведения о результатах испытаний образцов топлив и их компонентов на приборе ПСТ-2

Наименование продукта	Всего испытано	Количество результатов, находящихся в диапазоне значений показателя износа, усл. ед					
		10-20	20-30	30-40	40-50	60-70	70-80
РТ	5	1	4	-	-	-	-
ТС-1 прямогонное	10	1	6	2	1	-	-
ТС-1 смесевое	8	-	2	4	2	-	-
ТС-1 смесевое с противоизносной присадкой	3	3	-	-	-	-	-
Гидроочищенные керосиновые фракции	7	-	-	-	-	5	2

Результаты проведенных испытаний противоизносных свойств товарных топлив на приборе ПСТ-2 свидетельствуют о чувствительности данного метода к изменению компонентного состава топлив для реактивных двигателей. Для топлива РТ, прямогонного топлива ТС-1 и смесевое топлива ТС-1 с противоизносной присадкой более 80% полученных результатов находится в интервале 10 – 30 усл. ед., а для смесевых топлив ТС-1 без противоизносной присадки большинство полученных результатов (70%) находится в интервале 30 – 50 усл. ед.

Результаты испытаний на приборе ПСТ-2 показывают возможность данного метода четко разделять товарные реактивные топлива и гидроочищенные керосиновые фракции – диапазон значений для гидроочищенных фракций 60 – 80 усл. ед. не пересекается с интервалом значений противоизносных свойств товарных топлив (10 – 50 усл. ед.).

**Таблица 3**

Сведения о результатах испытаний образцов топлив и их компонентов на аппарате ВОС-100

Наименование продукта	Всего испытано	Количество результатов, находящихся в диапазоне значений показателя износа, усл. ед						
		0,56-0,60	0,61-0,65	0,66-0,70	0,71-0,75	0,76-0,80	0,81-0,85	> 0,85
РТ	5	4	1	-	-	-	-	-
ТС-1 прямогонное	10	3	6	1	-	-	-	-
ТС-1 смесевое без противоизносной присадки	8	1	2	5	-	-	-	-
ТС-1 смесевое с противоизносной присадкой	3	2	1	-	-	-	-	-
Гидроочищенные керосиновые фракции	7	-	-	1	2	2	2	-

Результаты проведенных испытаний противоизносных свойств товарных топлив и их компонентов на аппарате ВОС-100 свидетельствуют о том, что данный метод также чувствителен к изменению компонентного состава топлив. Наихудшими противоизносными свойствами обладают гидроочищенные керосиновые фракции, где большинство полученных результатов (86%) находится в интервале 0,71 – 0,85 мм. Несколько выше уровень противоизносных свойств смесевых топлив ТС-1 без противоизносной присадки, где большинство полученных результатов (62%) находится в интервале 0,66 – 0,70 мм. А для топлива РТ, прямогонного топлива ТС-1 и смесевое топлива ТС-1 с противоизносной присадкой большинство полученных результатов (95%) находится в интервале 0,56 – 0,65 мм.

Обобщение экспериментальных данных показало, что подход, использованный при разработке ГОСТ Р 52050-2006 «Топливо авиационное для газотурбинных двигателей Джет А-1 (Jet А-1). Технические условия», - механический перенос и без дополнительных исследований требований зарубежных спецификаций (ASTM D 1655-2006 и DEF STAN 91-91/5) на отечественное топливо для реактивных двигателей он является ошибочным. Применение нормы ГОСТ Р 52050 – диаметр пятна износа не более 0,85 мм позволит использовать в качестве товарного топлива гидроочищенные керосиновые фракции без противоизносной присадки, что приведет к массовым отказам агрегатов топливной аппаратуры авиационной техники.

Таким образом, анализ состояния дел в области оценки противоизносных свойств современных отечественных топлив для реактивных двигателей показал необходимость включения в российские НТД требований к смазывающей способности топлив для реактивных двигателей по ГОСТ Р 53715 (ASTMD 5001). Результаты представленных исследований позволяют предварительно сформулировать браковочную норму противоизносных свойств отечественных топлив для реактивных двигателей по методу ГОСТ Р 53715 (ASTMD 5001) – диаметр пятна износа не более 0,70 мм. Данное предложение нельзя рассматривать как окончательное, оно подлежит уточнению в ходе дальнейших исследований и требует учета статистики испытаний по данному методу в отечественных научно-исследовательских организациях и на нефтеперерабатывающих заводах.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Дубовкин Н.Ф., Маланичева В.Г., Массур Ю.П., Федоров Е.П. Физико-химические и эксплуатационные свойства реактивных топлив. - М.: Химия, 1987.
2. Гуреев А.А., Серегин Е.П., Азев В.С. Квалификационные методы испытаний нефтяных топлив. - М.: Химия, 1984.
3. Askwith, T.C., Hardy, P.J. and Vere, R.A. Lubricity of Aviation Turbine Fuels. Second report of the work and findings of the MOD (PE) Fuel Lubricity Panel, Ref: AX/395/014, January 1976.
4. Hadley J.W. and Blackhurst P. An appraisal of the ball-on-cylinder technique for measuring aviation turbine fuel lubricity. Shell Research Ltd., Thornton Research Centre, P.O. Box 1, Chester CHI 3SH Paper presented at the STLE Annual Meeting, May 1990, Denver, Colorado, USA.
5. ГОСТ Р 53715-2009. Топлива авиационные для газотурбинных двигателей. Метод определения смазывающей способности на аппарате шар-цилиндр (BOCLE). - М.: Стандартинформ, 2010.

#### THE PROBLEM OF ESTIMATION OF ANTI-WEAR PROPERTIES OF MODERN DOMESTIC JET FUELS

Likhterova N.M., Shatalov K.V., Kondratenko V.V., Bayevsky D.F.

The article presents the results of comparative assessment of anti-wear properties of domestic jet fuels having different compositions.

**Key words:** jet fuels, anti-wear protection, domestic and foreign standards.

**Сведения об авторах**

**Лихтерова Наталья Михайловна**, окончила РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина (1968), профессор, доктор технических наук, ведущий научный сотрудник отделения квалификационных испытаний топлив и масел для газотурбинных установок ФАУ «25 ГосНИИ химмотологии Минобороны России», автор более 150 научных работ, область научных интересов – технология получения и химмотология моторных топлив; технология, свойства и рациональное применение тяжелого нефтяного сырья; коллоидное строение нефти и нефтепродуктов.

**Шаталов Константин Васильевич**, 1966 г.р., окончил Ульяновское ВВТУ им. Б. Хмельницкого (1983), Военную академию тыла и транспорта (1998), доцент, кандидат технических наук, начальник научно-испытательного центра квалификационной оценки топлив и масел ФАУ «25 ГосНИИ химмотологии Минобороны России», автор 53 научных работ, область научных интересов – химмотология, оценка качества топлив и масел, метрологическое обеспечение испытаний топлив и масел.

**Кондратенко Валерий Викторович**, 1977 г.р., окончил Ульяновское ВВТУ им. Б. Хмельницкого (1994), ВАТТ им. А.В. Хрулева (2008), старший научный сотрудник квалификационной оценки топлив и масел для газотурбинных установок ФАУ «25 ГосНИИ химмотологии Минобороны России», автор 5 научных работ, область научных интересов – квалификационные испытания авиационных топлив и масел.

**Баевский Дмитрий Феликсович**, 1980 г.р., окончил Московский государственный университет тонких химических технологий им. М.В. Ломоносова (2012), главный механик второго Московского приборостроительного завода, область научных интересов – технология получения и химмотология моторных топлив.