

Венцель Е. С., Орел А. В., Щукин А. В.

## ВЛИЯНИЕ ДИСПЕРСНОСТИ ЧАСТИЦ ЗАГРЯЗНЕНИЙ НА ПРОТИВОИЗНОСНЫЕ СВОЙСТВА МАСЕЛ

*Противоизносные свойства масла могут быть оценены коэффициентом противоизносных свойств при известном гранулометрическом составе частиц загрязнения. Этот коэффициент представляет собой отношение числа частиц размером 5 мкм и менее к числу частиц остальных размеров и является показателем качества масла. Результаты лабораторных испытаний образцов масел показали, что увеличение коэффициента противоизносных свойств, как следствие, улучшение противоизносных свойства масел, может быть достигнуто как путем увеличения числа мелких частиц, так и уменьшения числа крупных частиц загрязнения.*

**Ключевые слова:** масло, гранулометрический состав, частицы загрязнения, износ

**Актуальность исследования.** Накопление загрязнений в маслах приводит к изменению их эксплуатационных свойств, в частности противоизносных [1, 2].

Степень загрязненности масел оценивается классом чистоты по ДСТУ ГОСТ 17216:2004, согласно которому каждому классу (от 00 до 17) соответствует определенное количество частиц в 100 см<sup>3</sup> масла в том или ином интервале размеров, а также концентрация загрязнений.

Однако никогда в реальных маслах не бывает совпадений числа частиц на всех интервалах размеров с числом частиц, указанным в классах по ДСТУ ГОСТ 17216:2004. Не бывает и совпадений классов чистоты, определяемых по гранулометрическому составу и по массовой концентрации загрязнений. Обычно чистота масел, полученная на основании анализа на массовую концентрацию, на один-два класса ниже результатов, полученных на основании гранулометрического анализа. Это отличие объясняется тем, что при определении массового содержания загрязнений результаты относятся к суммарному содержанию органических и неорганических компонентов, в т время как указанное в ДСТУ ГОСТ 17216:2004 количество частиц в каждом интервале размеров относится в основном к загрязнениям неорганического характера.

**Цель работы** – оценка влияния гранулометрического состава частиц загрязнений на противоизносные свойства масел.

**Постановка проблемы.** Наибольшее распространение получила методика определения класса чистоты, разработанная НПО "ВНИИГидропривод" и позволяющая установить чистоту масел в пределах 8-17 классов [3]. Согласно этой методике производится подсчет числа частиц загрязнений в каждом из указанных в ДСТУ ГОСТ 17216:2004 интервале размеров и определение индекса загрязненности по формуле

$$Z = 10^{-3}(n_{5-10} \cdot 10 + n_{10-25} \cdot 25 + n_{25-50} \cdot 50 + n_{50-100} \cdot 100 + n_{100-200} \cdot 200 + n_{>400}), \quad (1)$$

где  $n_{5-10}$ ;  $n_{10-25}$  и т.д. – число частиц загрязнений размером свыше 5 и до 10 мкм, свыше 10 и до 25 мкм и т.д. в 100 см<sup>3</sup> масла для каждого из 10-ти классов по ДСТУ ГОСТ 17216:2004 (от 8-го до 17-го). По величине индекса загрязненности можно установить класс чистоты масла:

Z	100	210	420	830	1640	3280	6520	13040	26080	52130
Класс чистоты	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17

Если не совпадает с указанным значением, то индекс загрязненности приводится к ближайшему значению в сторону увеличения. Однако, как индекс загрязненности, так и класс чистоты констатируют лишь количественное содержание частиц загрязнений относительно больших размеров (более 5 мкм) и не дадут качественной картины, характеризующей противоизносные свойства масел. Так, например, при неизменном числе частиц размером 5 мкм и не менее даже незначительное увеличение числа более крупных частиц ухудшает противоизносные свойства масел, а, следовательно, повышает интенсивность изнашивания пар трения.

Однако при таком увеличении числа крупных частиц хотя несколько и возрастает индекс загрязненности класс чистоты масла при ухудшении его противоизносных свойства не меняются. Например, индексы загрязненности масла 14-го класса чистоты может в зависимости от числа частиц размером более 5 мкм изменяться от 3281 до 6520, т. е. почти в 2 раза. Кроме того, в ДСТУ ГОСТ 17216:2004 для масел 3-17 классов чистоты не нормируется число частиц размером 5 мкм и не менее, а в формуле (1) для определения индекса загрязненности нет слагаемого, учитывающего число этих частиц. А ведь именно они способны улучшить противоизносные свойства масла по следующим причинам:

– обладая развитой удельной поверхностью, мелкие частицы адсорбируют на себе продукты окисления масла и превращаются таким образом в естественную противоизносную присадку, так как дискретно разделяют поверхности трения и не оказывает на них абразивного воздействия [2];

– высокодисперсные частицы снижают интенсивность электростатического изнашивания и улучшают теплопередачу между поверхностями трения [4, 5];

располагаясь в микровпадинах шероховатых поверхностей, мелкие частицы нивелируют их, уменьшая давления в сопряжении [6].

**Изложение основного материала исследования.** Противоизносные свойства масел с учетом гранулометрического состава частиц загрязнений целесообразно выражать предлагаемым коэффициентом противоизносных свойств, который определяется по формуле

$$K_j = \frac{n_5 \cdot 5}{n_{5-10} \cdot 10 + n_{10-25} \cdot 25 + n_{25-50} \cdot 50 + n_{50-100} \cdot 100 + n_{100-200} \cdot 200 + n_e \cdot 400}, \quad (2)$$

где  $n_5$  – число частиц загрязнений размером 5 мкм и менее.

С учетом выражения (1)

$$K_j = \frac{0,005n_5}{Z} \quad (3)$$

Увеличение коэффициента  $K_j$ , следовательно, и улучшение противоизносных свойства масел, может быть достигнуто как увеличением числа мелких частиц (5 мкм и менее), так и уменьшения числа крупных частиц (более 5 мкм). С этой целью целесообразно либо повышать номинальную тонкость фильтрации масел (до обоснованной с экономической точки зрения величины), когда при почти неизменном числе мелких частиц число крупных фракций минимально, либо искусственно диспергировать последние до размеров 5 мкм и менее, или же совмещать оба этих процесса.

Это подтверждается опытом эксплуатации гидросистем, когда применение фильтров с высокой номинальной тонкостью очистки и диспергаторов частиц загрязнений приводит к улучшению противоизносных свойства масел и увеличению долговечности узла трения [7, 8, 9].

Рассмотрим некоторые практические примеры.

Результаты гранулометрического анализа проб масла И-Г-А-32 (ГОСТ 17479-87), отобранного из гидросистемы двух металлорежущих станков, приведены в табл. 1. Как видно, в масле № 1 число частиц во всех интервалах размером меньше, чем в масле № 2. В связи с этим индекс загрязненности масла № 1 составляет 3038,5 (13-й класс чистоты), а масло № 2 – 3388,85 (14 - й класс чистоты), т.е. согласно ДСТУ ГОСТ 17216:2004 чистота масла №1 выше чем масла №2. Однако за счет того, что в масле №2 примерно в полтора раза больше частиц размером 5 мкм это масло имеет по сравнению с маслом №1 большее значение коэффициента противоизносных свойств  $K_j$  (соответственно 0,66 и 0,487).

Результаты испытаний этих масел на машине трения СМЦ-2 по схеме ролик – колодка (материал ролика – сталь 20Х, колодки – бронза БрОСН10-2-3) показали (табл. 2), что износ пар трения при смазывании их маслом № 2 с  $K_j = 0,66$  меньше, чем износ на масле № 1 с  $K_j = 0,478$ .

Таблица 1

Результаты гранулометрического анализа масла И-Г-А-32 в 100 см<sup>3</sup>

Масло	Число частиц размером, мкм						Индекс загрязненности	Класс чистоты
	До 5	5-10	10-25	25-50	50-100	100-200		
№ 1	290460	112700	56920	6610	910	335	3038,5	13
№ 2	446870	125600	63810	7260	1030	358	3388,85	14

Таблица 2

Результаты испытаний масла И-Г-А-32 на машине трения СМЦ-2

Масло	Коэффициент $K_j$	Износ, г		
		ролика	колодки	суммарный
№ 1	0,478	0,0026	0,0084	0,0110
№ 2	0,660	0,0021	0,0062	0,0083

Были проведены эксплуатационные сравнительные испытания двух экскаваторов ЭО-2626 в гидросистему одного из которых было встроено диспергирующее устройство гидродинамического типа [9]. Характеристика гранулометрического состава частиц загрязнений применяемого масла ИГП-152 (ISO 6743) перед началом испытаний и в процессе эксплуатации приведена в таблице 3.

Таблица 3

Результаты гранулометрического анализа масла ИГП-152 (класс чистоты 13) из гидросистем экскаваторов ЭО-2626 (число частиц в объеме 100 см<sup>3</sup>)

Время работы масла, ч	Число частиц размером, мкм							Индекс загрязненности	Коэффициент $K_j$
	До 5	5-10	10-25	25-50	50-100	100-200			
0	340670	85168	39700	3405	441	120	2082,5	0,82	
490 (без диспергатора)	580592	265434	267150	29968	6875	2264	11972,0	0,24	
450 (с диспергатором)	868028	138560	62710	7150	365	106	3368,0	1,29	

Из приведенных данных следует, что наличие в гидросистеме диспергирующего устройства обеспечивает увеличение коэффициента противоизносных свойств масла за счет повышения в единице объема числа мелких частиц, полученных при диспергировании крупных фракций. В масле, работавшем в серийном гидроприводе скрепера, за 490 ч эксплуатации произошло некоторое уменьшение коэффициента  $K_j$  по сравнению с его первоначальным значением. Полученные данные хорошо согласуются с результатами анализов масел на содержание железа:

Время работы масла, ч	490 (без диспергатора)	450 (с диспергатором)
Содержание Fe в масле ИГП-152, %	$7,2 \cdot 10^{-4}$	$5,6 \cdot 10^{-4}$

Из изложенного не следует заключать, что число мелких частиц (5 мкм и менее) может быть бесконечно большим. Очевидно, превышение некоторого оптимального значения может привести к отрицательным последствиям: забиванию дросселей, масляных канавок, отверстий подвода масла к подшипникам и др.

**Вывод.** При известном гранулометрическом составе частиц загрязнения масла его противоизносные свойства могут быть оценены коэффициентом противоизносных свойств, представляющим собой отношение числа частиц размером 5 мкм и менее к числу частиц остальных размеров и являющимся одним из показателей качества масла.

### Литература

1. Белянин П. Н. Промышленная чистота машин / П. Н. Белянин, В.М. Данилов. – М.: Машиностроение, 1982. – 224 с.
2. Венцель Е. С. Улучшение эксплуатационных свойств масел и топлив: монография / Е. С. Венцель. – Харьков: ХНАДУ, 2010. – 224с.
3. Чистота промислова; Класи чистоти рідин: ДСТУ ГОСТ 17216:2004. – Офіц. вид — К. : Держспоживстандарт України, 2004. — 7с.
4. Бакакин Г. Н. Влияние диспергирования механических примесей в масле на его противоизносные свойства и состояние поверхностных слоев пар трения / Г. Н. Бакакин, Е. С. Венцель, Р. И. Михайлов // Проблемы трения и изнашивания. – 1973. – Вып. 4. – С. 101–105.
5. Григоров А. Б. Вплив забруднень моторних олиф у процесі експлуатації на величину зміни їх відносної діелектричної проникності / А. Б. Григоров // Вісник національного технічного університету «ХПІ». – 2007. – №32. – С.133–138.
6. Применение металлоколлоидных смазок органозолей железа для приработки деталей автомобильного двигателя / М. Л. Барабаш, М. В. Корогодский, А. С. Краюшкин и др. // Повышения износостойкости и срока службы машин. – Киев : изд. АН УССР, 1960. – Т. 2. – С. 249–261.
7. Гельцер А. К. Исследование процесса очистки гидросистем при изготовлении экскаваторов. Автореф. Дисс. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук / А. К. Гельцер. – Л., 1975. – 179 с.
8. Микипорис Ю. А. Улучшение свойств рабочей жидкости гидросистем / Ю. А. Микипорис, Ю. А. Тимофеев // Вестник машиностроения. – 1986. – № 3. – С. 24 25.

9. Улучшение эксплуатационных свойств масел для гидравлических приводов путем диспергирования механических примесей / Г. А. Аврунин, Е. С. Венцель, Г. Ф. Ливада и др. // Трение и износ. – 1983. – № 1. – С. 155–159.

### References

1. Beljanin P. N. Promyshlennaja chistota mashin / P. N. Beljanin, V.M. Danilov. – M.: Mashinostroenie, 1982. – 224 s.
2. Vencel' E. S. Uluchshenie jekspluatacionnyh svojstv masel i topliv: monografija / E. S. Vencel'. – Har'kov: HNADU, 2010. – 224s.
3. Chistota promislova; Klasi chistoti ridin: DSTU GOST 17216:2004. – Ofic. vid — K. : Derzhspozhivstandart Ukraïni, 2004. — 7с.
4. Bakakin G. N. Vlijanie dispergirovanija mehanicheskikh primesej v masle na ego protivoiznosnye svojstva i sostojanie poverhnostnyh sloev par trenija / G. N. Bakakin, E. S. Vencel', R. I. Mihajlov // Problemy trenija i iznashivanija. – 1973. – Vyp. 4. – S. 101–105.
5. Grigorov A. B. Vpliv zabrudnen' motornih oliv u procesi ekspluatacii na velichinu zmini ih vidnosnoi dielektrichnoi proniknosti / A. B. Grigorov // Visnik nacional'nogo tehničnogo universitetu «HPI». – 2007. – №32. – S.133–138.
6. Primenenie metallokolloidnyh smazok organozolej zheleza dlja prirabotki detalej avtomobil'nogo dvigatelja / M. L. Barabash, M. V. Korogodskij, A. S. Krajushkin i dr. // Povyshenija iznosostojkosti i sroka sluzhby mashin. – Kiev : izd . AN USSR, 1960. – T. 2. – S. 249–261.
7. Gel'cer A. K. Issledovanie processa ochistki gidrosistem pri izgotovlenii jeksavatorov. Avtoref. Diss. na soisk. uchen. step. kand. tehn. nauk / A. K. Gel'cer. – L., 1975. – 179 s.
8. Mikiporis Ju. A. Uluchshenie svojstv rabochej zhidkosti gidrosistem / Ju. A. Mikiporis, Ju. A. Timofeev // Vestnik mashinostroenija. – 1986. – № 3. – S. 24–25.
9. Uluchshenie jekspluatacionnyh svojstv masel dlja gidravlicheskih privodov putem dispergirovanija mehanicheskikh primesej / G. A. Avrunin, E. S. Vencel', G. F. Livada i dr. // Trenie i iznos. – 1983. – № 1. – S. 155–159.

**Венцель Е.С., Орел О.В., Щукін О.В.**

### ВПЛИВ ДИСПЕРСНОСТІ ЧАСТИНОК ЗАБРУДНЕНЬ НА ПРОТИЗНОСНІ ВЛАСТИВОСТІ ОЛІЙ

*Протизносні властивості масла можуть бути оцінені коефіцієнтом протизносних властивостей при відомому гранулометричному складі частинок забруднення. Цей коефіцієнт є ставлення числа частинок розміром 5 мкм і менше до числа частинок інших розмірів і є показником якості масла. Результати лабораторних випробувань зразків масел показали, що збільшення коефіцієнта протизносних властивостей, як наслідок, поліпшення протизносних властивості масел, може бути досягнуто як шляхом збільшення числа дрібних частинок, так і зменшення числа великих часток забруднення.*

**Ключові слова:** *масло, гранулометричний склад, частинки забруднення, знос*

**Ventsel E.S., Orel A.V., Shchukin A.V.**

### INFLUENCE OF DISPERSION OF POLLUTION PARTICLES ON THE CONTRAINOUS PROPERTIES OF OILS

*Anti-wear properties of oil can be assessed by anti-wear properties with a known particle size distribution of contamination particles. This coefficient is the ratio of the number of particles with a size of 5 microns or less to the number of particles of other sizes and is an indicator of the quality of the oil. The results of laboratory tests of oil samples showed that an increase in the coefficient of anti-wear properties, as a result, an improvement in the anti-wear properties of oils, can be achieved both by increasing the number of small particles and reducing the number of large particles of contamination.*

**Keywords:** *oil, particle size distribution, pollution particles, wear*

### Сведения об авторах

**Е.С. Венцель**, Украина, Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, кафедра Строительных и дорожных машин им. А.М. Холодова, профессор, д. т. н. e-mail: [7051956@bigmir.net](mailto:7051956@bigmir.net)

**А.В. Щукін**, Украина, Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, кафедра Строительных и дорожных машин им. А.М. Холодова, доцент, к.т.н. e-mail: [alexhome88@gmail.com](mailto:alexhome88@gmail.com)

**А.В. Орел**, Украина, Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, кафедра Строительных и дорожных машин им. А.М. Холодова, доцент, к.т.н. e-mail: [oav1980@gmail.com](mailto:oav1980@gmail.com)