????????

???????? ???????? ?????? ???????? ????????? ????????? ????????? ????????? ? ??????? ????????? ? ??????????? ??????????? ?????????????????? ???????. ????? ??????? ??????????? ???????? ? ???????? ????????????, ????????? ???????? ??????? ? ????????? ?????????????????? ??????. ? ???????? ???????? ?????? ???????? ???????????? ?? ?????????? ?????????????????? ??????? ???????? ????????? ?????????, ??????????????? ??? ???????? ????????, ??????????? ???? ?????? ?????????.

??????????? ?????? ?????????? ???????????? ??????????? ? ???????????? ? ?????????????????? ??????????? ???????, ??? ?????? ?????????? ???????? ????????? ????????? ?????? ? ????????? ???????????????? ??????? ?????. ?????????? ??????????? ?????????, ??? ??????-????????? ????????????? ???????? ?????, ? ????????? ??????????? ????????, ?????????? ? ????????? ???????? ? ?????????? ??????????? ??????, ????????? ??????????? ??????? ?? ???????????? ?????? ? ?????????? ?????????? ? ???????? ??????. ???????? ?? ??????????? ???????? ? ??????? ???????? ????? ?????, ??????? ?????????? ?????? ?? ??????? ? ???????? ??????????? ???????? ??????????? ????????? [1].

????? ????????? ?????????????? ? ???, ??? ?????????? ??????????? ???????????? ?? ????????? ??????? ?????? ?????: ????????? ????????, ??????? ????????? ??????, ??????? ????????. ?????? ????????? ?????? ? ????????, ??????????? ??????, ??????? ????? ? ?????????????? ???????? ?????? ??? ?????? ????????? ????? ????????????? ????? ??????? ?????????????? ??????? ??????? ? ????????? ????? ????????? ????? ? ?????????? ???????????????? ????????????.

????????, ??????, ??????????? ? ??????

???????????????? ????? ??????????? ???? ??????????? ????? ???????, ????? ???????? ?????????? ?????????? ? ?????????????? ?????? ?? ????????? ???????????????? ??????? ???????? ????? ? ?? ??????? ?? ????? ??????? ?????. ??? ????? ???? ???????? ??? ???? ???????? ?????: ??????????, ???????????????? ? ????????? ????????????, ?????? ?? ??????? ????????? ????????? ?????? ????????, ??????? ????-????????, ??????????? ? ????????????? ?????????. ????? ?????????? ? ??????????? ? ??????????? ?????????? API ? ACEA, ?? ???????? ??????-????????? ????????? ???? ????????? ?? ??????????? ????????? ????????????? ????????? ?? ?????? ?????????.

????? ??????? ????? ??????????? ? ???????????????? ???????????? ??????? ????? ???? ?????????? ??????? ?? ??????? ? ??????????? ??????? ?????????? ? ??????? ??????????? ????????????. ?? ???? ????? ??????? ?????????, ??? ????????? ???????????? ?????? ? ????????? ???????????? ?????? ????????? ?? ????? 70%, ??????? ??????????? ?????? ?????????????? ???????? ????????????? ??????????? ?????? ? ???????, ? ????????? ????????????? ? ?????? ??????? ?? ????????? 12% ?? ????? ?????. ??? ?????????? ????? ???????????? ??????????? ??????? ????????? ?????????? ???????????? ? ????? ?????? ??????????? ?????????? ????????.

??? ?????????? ????????????? ???????? ?? ?????? ????? ??????????? ????????? ?????????? ?????????? Brookfield, ??????? ???????? ?????????? ????????? ???????? ??? ??????????? 40°C, 60°C, 80°C ? 100°C. ????????, ???????? ???????? ??????????? ????? ??? 40°C ????????? 89,4 ??²/?, ?????????????????? — 85,7 ??²/?, ????????????? — 79,2 ??²/?. ????? 10 000 ?? ??????? ??? ???????? ???????? ????????????? ?? 75,1 ??²/?, 71,8 ??²/? ? 68,5 ??²/?, ??? ?????????????????? ? ?????? ??????? ????????? ????? ? ???????? ???????????. ??????????? ???????? ???????? ?????????? ? ?????????? ? ?????????????????? ?????, ???

???????? ?????? ?? ??????????? ???????? ?????? ? ????????? ??????????? ?????? ? ????? ??????.

????????? ??????????? ?????? ????????????? ?? ?????????? ?-02?, ??? ??????????? ???? ?????? (????? 45 – ????? ??20) ??????????? ???????? ? ???????? ????? ??? ???????? 200 ? ? ???????? ????????? 0,5 ?/?. ?????? ??????? ????? ??????????? ?????????? ?????? ? ????????? 0,065–0,072, ?? ??? ????? 5 000 ?? ??????? ??????????? ????? ????????? ???? ????? ????????? ?? 0,078, ? ????? 15 000 ?? — ?? 0,089. ??? ???????????? ????? ????????? ??????????? ?????? ???? ????? ????????: ? 0,067 ?? 0,074 ?? ??????? ???????. ??? ????????? ?? ????? ????????? ??????????? ???????? ???????????? ? ?????????????????? ????? ??? ????????? ??????????? [2].

??? ??????? ??????? ????????? ?????? ? ?????? ????? ????? ????????? ?????? ??????????? ??????????? ????-????????????, ??? ????????? ???????????? ????????? ??????????? ???????? ????????. ???, ????????? ????-????????? ????????? ? ?????????????????? ????? ????????? ? 0,12% ?? 0,08% ?? ????????? 10 000 ??, ? ????????? ????????????? ???????? ??????????? ?? 30% ? ??????????? ??????. ??? ?????????????????? ? ????????? ??????????? ?????? ? ???????? ???????? ??????? ????? ?? ???? ??? ????????.

?????????????????? ?????? ????????? ?????? ?????? ????????? ????? ??????????? ???????? ????? ????? ????????? ??????? ? ???????? ??? 0,8 ???, ????? ???? ??????? ??????????? ??? ??????????? 105°C ? ??????????? ?? ???????????? ????? ? ????????? ?? 0,0001 ?. ? ???????, ????? 5 000 ?? ??????? ????? ???????? ?????? ? ??????????? ????? ????????? 3,4 ??/100 ??, ? ????? 15000 ?? — ??? 7,2 ??/100 ??. ? ???????????? ????? ??? ???????? ???? ??????????? ????: 1,7 ??/100 ?? ????? 5 000 ?? ? 3,6 ??/100 ?? ????? 15 000 ??.

??? ??????????? ??????????? ??????? ???????? ?????? ????? ????????? ??????????? ??????-??????????? ???????????? (AES), ??? ????????? ???????? ??????????????? ??????? ??????. ??? ???? ???????? ????????? ??????????? ?????? (Fe) — ?? 45 ?? 60% ????? ????? ??????, ??????????? ???? ?????? (Pb) — ?? 12%, ???? (Cu) — ?? 9%, ? ????? ??????????? ???????? (Al) ? ??????? (Si) ? ??????? ????????? ??????. ??? ???? ? ????????, ?????????????????? ?? ???????????? ?????, ??????????? ????????? ???? ?????? ? ????, ??? ????????? ?? ??????? ????? ??????????? ? ????????? [3].

?????? ?????? ?????? ???? ???????? ???????? ????????? ???? ???????????? ??????? ????? ?? ?????? ????????? ???????????. ??????? ????????? ?? ???????? 0, 5 000, 10 000 ? 15 000 ??, ??? ????????? ?? ?????? ???????????? ????????? ??????? ????? ?? ???????, ?? ? ???????? ???????????? ? ???????????? ??????????? ??????????, ??? ????? ??????????? ??????????? ????????, ?? ?? ???????????????? ? ???????? ???????? ???. ? ????????????? ??????????? ????? ???????? ???????? ? ???? ????? ?????? ?????? ??????????? ????????, ??? ? ?????, ????????? ? ???????? ??????????, ??? ??????? ? ??????????? ??????? ??????????????? ???????? — ??????????, ???????? ????????, ??????????? ?????, ??????? ? ????????????? ????????.

????? ???????, ??????????? ?????? ? ??????????? ???????? ???????? ??????????? ????????????? ?????? ? ????????? ?????, ???????? ????????? ?? ????????, ??????????? ??????, ????? ? ??????? ?????? ??????, ? ????? ??????????, ??? ????????? ??????????? ???????????? ????? ? ?????????????????? ???????? ???????? ??????????? ???????????? ???????? ???????????? ?????? ??????? ????? ??? ????????? ???????????.

?????????

? ????????? ??????????? ???????????? ??????? ???????? ??????????? ??????? ???????? ????????????? ???????? ???????? ????? ? ??????????? ?? ??????? ??????????? ? ???? ?????. ?? ???????? ????? ??????????? ??? ????????? ??????? ????? ????? ????????????? ???????? ??? ??????????? 40°C ? ???????? ?? 78 ??²/? ??? ???????????? ?? 92 ??²/? ??? ??????????? ?????. ??? ??????????? 100°C ????????

???????? ?????????? ?????????????? ?? 12,5 ??²/? ? ???????????? ?? 14,3 ??²/? ? ?????????? ?????. ??? ?????? ??????????, ??? ??????? ????????????? ????? ?? ?????? ??????????? ?????????????? ?????????? ?????????? ? ????????? ????????? ? ??????????? ??????????? ????????? ????????? ?????? ? ???? ???????? ???????.

?????? ??? ????? 10 000 ?? ?????? ? ????????? ???? ???????????? ???????? ???????? ???????? ?? ???? ???????????? ??????. ???????? ?????????? ????????? ????????? ? ?????????? ?????, ??? ????????????? ???????? ??? 40°C ?????????? ?? 13–15% ? ????????? 78–80 ??²/?, ? ??? 100°C – ????????? ?? 12,2–12,5 ??²/?. ??? ??????????????? ????? ???????? ???????? ????????? ????? ????????? ? ????????? ???????? 10%, ? ?? ????? ??? ???????????? ????? ????????? ??????? ????? ????? ???????? ???????: ?? ???????? ????? 10 000 ?? ?????????? ????????? ?? ????? ??? ?? 8%, ????????? ?? ?????? 72–74 ??²/? ??? 40°C ? 11,5–12,0 ??²/? ??? 100°C. ??? ??????? ? ?????? ?????????? ??????????? ???????????? ????? ? ??????????? ?????????????????? ??????? ????????, ??????? ????????? ????????? ????? ? ?????????? ????????? ??????? ??????? ??? ??????? ??????????.

?? ???????? ?????? ??????? ?????????? ??????? ?????? ????? ?????????? ??????, ????????? ??? ?????? ?????????? ????????? ?? ?????????. ???????, ????? ????? ??????? ??????? ?????, ???? ????????? ??? ???? ????? ????? ????????? ? ????? ?????????: ?? 0,065 ? ???????????? ?? 0,072 ? ?????????? ?????. ?? ???? ?????????? ????????? ? ????????? ????? ?????????? ?????? ????????? ????????. ???????? ?????????? ???? ??????? ??? ?????????? ?????, ??? ????? ??????? 10 000 ?? ?????????? ?????? ???????? 0,083. ??? ???????????? ????? ?????????? ????????? ????????? ???? ?? 0,077, ??? ?????????? ????????? ??? ?????? ?????????? ??????? ? ????? ????????? ????????? ?????? ???? ?? ????????? ?????????? ??????? [4].

?????? ????? ???????? ??????, ????????? ?? 100 ?? ???????????? ?????, ??????? ?????????? ??????? ? ?????????? ?? ???? ????? ? ??? ?????????? ???????. ??? ?????????? ????? ????? ?????????? ?????? ????? 10 000 ?? ?????????? ????????? ? ???????? 5,2–6,8 ??, ??? ????????????? ? ????????? ?????????? ?????????? ??????? ?????????? ??????? ????????. ? ?????? ???????????? ????? ???? ????????? ???????? ??????? ???? — ?? 3,1 ?? 4,0 ??, ??? ? ??????? ?? 35–40% ?????? ?? ????????? ? ?????????? ????????. ???????? ??????? ??????????, ?????? ?????, ??????? ????????? ? ??????? ????????? ???????????? ?????, ? ????? ?? ?????????? ?????????? ????? ??????? ? ????????? ???????? ?????? ?? ?????????? ???????? ???.

????????? ????????? ?????? ???????? ??????, ?????????? ? ??????? ??????-?????????? ????????????, ???????? ?????????, ??? ???????? ???? ? ?? ??????? ???????? ????????? ??????, ???? ??????? ????????? 45–57% ? ?????????? ?? ???? ????? ? ?????? ?????????? ????????. ?????????? ?????????? ?????? (8–12%) ??????? ? ??????? ?????????? ? ????????, ? ???? ???????? (?? 6%) ????????? ?? ????? ??????? ? ????????? ?????. ??????? ???? (5–9%), ?????????? ? ???????? ??????, ????????????? ? ????????? ???????? ? ???????? ?????????? ????????. ??? ???? ? ???????????? ?????? ???????? ????????? ???? ??????? ???????? ?? ????????? ? ??????????, ??? ???????????? ?????????? ?? ???????????? ? ?????? ??????? ?? ?????? ? ????????? ????? ?????? ????????? [5].

????? ???????, ??????????? ????????? ?????????????????? ?????? ????????????, ??? ??????????????? ????????????? ???????? ????? — ?????? ????? ????????? ????????, ??????????? ?????? ? ????? ???????? ?????? — ????? ???????????? ? ????????? ??????? ?????? ??????? ????????? ? ???????? ??????????. ???????????? ????? ? ??????????? ????????? ??????????? ???????? ????????? ????????? ?? ????????? ????? ???????????? ????????, ?????????? ?????? ???????????? ?????? ?? ???????? ? ??????????? ???????, ??? ????????????? ??? ????????????, ??? ? ????????????????? ??????????.

???????????? ????? ? ??????? ?????? ?????? ??????????? ? ???????.

????? ? ?????????? ?????? ?????? ?????? ? ???????? ?????? ????? ???????????

Table

Mass and elemental composition of wear particles in engine oils after use

??? ?????	????? ??????, ??/100 ??	Fe (%)	Pb (%)	Al (%)	Cu (%)
??????????	6,8	57	12	6	8
?????????????	5,1	50	10	5	7
?????????????	3,1	45	8	4	5

??????????/??????????

?????????? ??????????? ?????????? ?????????????????? ?????? ????? ????? ??????????????????? ????????? ???????? ????? ? ????????????????? ?????? ??????? ??????????? ??????? ?????, ????????? ? ???????? ??????? ????????, ????????? ? ??????????? ????????. ????????? ?????? ???????? ???????? ???????? ????? ????????? ????? ???????, ??? ????? ?? ???????????????? ?????? ??????????????? ?????????? ????? ??????? ??????????? ????? ????????? ? ??????? ????? ????? ???????????. ???, ???? ??? ?????????? ????? ????? 10000 ?? ??????? ???? ???????????????? ??????? ???????? ????????????????? ???????? ??? 100°C ?? 13,5% (? 13,2 ??²/? ?? 11,4 ??²/?), ? ??? ?????????????????? ????? — ?? 11% (? 13,8 ??²/? ?? 12,3 ??²/?), ?? ????????????????? ????? ???????? ? ???????? ?? ????? 7,9% (? 14,1 ??²/? ?? 13,0 ??²/?). ????? ????????? ??????????????????? ? ?????? ??????????? ??????????????? ????????? ???????? ????? ??? ????????? ?????????? ??????? ????????? ? ???????????????? ????????, ? ????? ? ?????????? ???????????????? ????? ????????? ?????????? ??????? ????????? ?????? ? ???? ????????.

???? ??????????? ??????, ????????? ???????????????? ???????? ???????? ? ????????? ??????????? ??????, ????? ???????? ?????????? ???? ? ???????????????? ?????. ???, ??? ?????????? ????? ??????? ?????????? ?????? ????????? ? 0,072 ?? 0,089 ????? 10000 ?? ???????, ??? ????????????????? ??????????????? ?????????? ???? ???????? ?? 9–12°C. ??? ???????????????? ????? ???? ????????? ????? ???? ? 0,067 ?? 0,074, ? ????????? ????????? ?????????? ???? ?????? ?? ???????? 3–4°C. ??? ????????, ??? ???????????????? ????? ?? ?????? ??????????? ??????? ????????? ??????, ?? ? ??????????? ???????????????? ???????? ????????????????? ?????? ? ?????????.

?????? ???????? ??? ???????? ??????? ????????? ???? ???????????????? ?????? ????? ? ??????? ?????? ??????, ??????????????????? ?? ??????????? ?????. ????? ?????? ??????, ????????? ?? 100 ?? ??????????? ????? ????? 10000 ?? ???????????, ????????? 6,8 ??, ? ? ?????? ?????????????????????? ????? — 5,1 ??. ??? ????????????? ????? ??????? ????? ?????? ?????? ????????? ???? 3,1 ??, ??? ????? ??? ? ??? ???? ????, ??? ? ?????????? ????????. ?????? ?? ???????? ???? ?????? ? ???????? ?????? ????? ????????? ?????????????????: ???? ??? ?????????? ????? ??? ???????? ?? 57% ?? ????? ?????, ?? ??? ???????????????? — ?? ????????? 45%. ?????????? ??????, ???? ? ???????? ? ????????? ?????? ????????? ?? ???????????????? ?????????? ??????????, ????????? ? ????????? ?????. ? ????????, ? ?????????? ?????? ????????? ?????? ???????? ?? 12%, ???? — ?? 8%, ????? ??? ? ???????????????? ?????? ??? ???????? ???? ?? ?????? 8% ? 5% ?????????????????. ????? ?????? ?????? ?????? ?????????????????? ? ????? ?????? ?????? ?????? ???????? ??? ??? ????????????????? ????????????????? ?????, ? ????? ? ?????? ?????? ?????????????????? ???????? ?? ???? ?????????? ????????.

?????????? ?????? ?????????????????? ??????? ????? ? ????????? ?? ????????? ?? ?????? ????????? ????????? ????????????????? ?????? ????????, ?? ? ???????????????? ?????????? ?????????????????? ??????? ????????? ????? ??? ????????? ??????? ????????????????: ??????, ????? ????????, ??? ????????. ? ????????

?????? ???? ????????????, ??? ???????? ???????? ????? ?? 8–15% ????? 10000 ?? ??????? ???????? ? ????? ??????????? ?????? ?? 10–22% ? ?????????????? ?????????? ????? ?????? ??????, ???????? ? ?????? ????? ? ?????? ???????????? ?????????????? ? ????????????????? ????????.

?????? ???????? ? ???? ??????? ????????? ??????? ???? ??????????? ?????? ?? ??????? ??????. ?????, ?????????? ????-????????, ??????????? ? ???????????? ????????, ?????????????? ?? 25–30% ??????? ????? ???????? ?????? ?? ????????? ? ??????????? ??????? ??? ???????? ???????. ??? ??????????, ??? ??????????? ?????????????????? ???????? ?? ?????? ????????? ??????? ???????? ?????? ?? ??????????? ???????, ?? ? ??????????? ??????????? ????????, ?????? ???????? ????????? ? ??????????? ?????????? ???????? ?????. ????-?????????????????? ?????? ??????? ????????? ??????????? ????-????????? ?????????? ?? 30% ?? 10 000 ??, ?????? ???? ?????????? ?????????? ???????? ??????? ??? ??????????? ??????? ?????? ?????? ? ???????????? ?????? [6,7].

?????????? ??????? ??????????? ??????? ?????? ?????? ????????? ??????? ?????? ????????? ????? ?????? ????????? ?????? ? ?????? ? ??????????? ???????????? ?????? ???????????????? ??????. ???, ??? ????????? ???? ?????? ? ???????? ?????? ????? 55% ??????????? ?????????? ????????? ???????? ??????? ?? ??????? ????????, ??? ???? ??????????? ??????????? ???????????. ??? ????????? ??????????? ??????????? ?????? ????? ??? ?????? ??????????? ??????????? ????????? ????????? ? ????????????? ??????????? ?????? ????? ??? ?????????? ????????? ??????????.

? ?????, ?????????? ???????????????? ?????? ??????????? ??????????, ??? ?????????? ????? ? ??????? ???????????? ????????, ?????? ???????????? ?????? ? ??????????? ??????? ??????????? ???????? ??????????? ???????????? ?????????? ?????? ??????????? ??????? ??????????, ??????? ??????????? ????????? ???????, ????????? ??????? ?? ??????????? ? ???????? ?????????? ?????? ?????. ??????????? ???????? ??????????? ?????? ???????????????? ??????? ?????, ?????????? ?????? ????????, ??????????? ??????, ????? ? ??????? ?????? ??????, ? ????? ?????????? ?????????? ???????? ????????? ? ????????? ??????, ????? ???? ???????????? ? ????????? ? ??????? ??????????? ??????????? ?????????????????? ? ??????????? ??????????. ????? ?????? ?? ?????? ???????? ?????????????????? ???????? ??????????? ???????, ?? ? ????????? ????? ??????????? ??? ?????????? ????? ? ????????? ???????????????????? ??????????????????, ??????????? ??????????? ?????????? ???????????.