

УДК 544.032.2

## Синергизм и антагонизм противоизносных добавок как метод подтверждения механизма их действия

Г.Ф. Павелко

Институт нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиева РАН,  
Ленинский просп., 29, г. Москва 119991, Россия

Поступила в редакцию 09.12.2022.

После доработки 15.02.2023.

Принята к публикации 21.02.2023.

Исследовано влияние 2,2,6,6-тетраметилпиперидина (ТМП), 2,6-ди-*трет*-бутил-4-метилфенола (ДТБМФ), *пара*-кумилфенола (ПКФ), 2,2,6,6-тетраметилпиперидин-1-оксила (ТМПО) и перекиси дикумила (ПДК) на противоизносные свойства серосодержащих добавок: додекантиола (DdSH), ди-додецилдисульфида (Dd<sub>2</sub>S<sub>2</sub>) и дибутилдисульфида (Bu<sub>2</sub>S<sub>2</sub>) в растворе очищенного вазелинового масла (ОВМ). Исследована 21 двухкомпонентная композиция добавок из 28 возможных сочетаний. Предложено правило: синергизм — это, когда эффективность смеси добавок больше среднего результата суммы противоизносных эффективностей каждого компонента в отдельности, а антагонизм — когда эффективность смеси добавок меньше среднего результата суммы противоизносных эффективностей каждого компонента в отдельности. Практическое значение предложенного метода исследования двухкомпонентных добавок состоит в том, что он может быть использован для подтверждения или опровержения механизма действия добавок.

**Ключевые слова:** противоизносные свойства, синергизм, антагонизм, граничное трение, дитиолаты железа, серосодержащие добавки.

**DOI:** 10.32864/0202-4977-2023-44-1-85-92

---

**Адрес для переписки:**

Г.Ф. Павелко  
Институт нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиева РАН,  
Ленинский просп., 29, г. Москва 119991, Россия  
e-mail: george.pavelko@gmail.com

**Для цитирования:**

Г.Ф. Павелко  
Синергизм и антагонизм противоизносных добавок как метод подтверждения механизма их действия.  
Трение и износ.  
2023. — Т. 44, № 1. — С. 85–92.  
**DOI:** 10.32864/0202-4977-2023-44-1-85-92

---

**Address for correspondence:**

G.F. Pavelko  
Institute of Petrochemical Synthesis A.V. Topchiev RAS,  
Leninsky Prospekt, 29, Moscow 119991, Russia  
e-mail: george.pavelko@gmail.com

**For citation:**

G.F. Pavelko  
[Synergism and Antagonism of Anti-Wear Additives as a Method of Confirming the Mechanism of Their Action].  
*Trenie i Iznos*.  
2023, vol. 44, no. 1, pp. 85–92 (in Russian).  
**DOI:** 10.32864/0202-4977-2023-44-1-85-92

# Synergism and Antagonism of Anti-Wear Additives as a Method of Confirming the Mechanism of Their Action

G.F. Pavelko

*Institute of Petrochemical Synthesis A.V. Topchiev RAS,  
Leninsky Prospekt, 29, Moscow 119991, Russia*

*Received 09.12.2022.*

*Revised 15.02.2023.*

*Accepted 21.02.2023.*

## Abstract

The effect of 2,2,6,6-tetramethylpiperidine (TMP), 2,6-di-tert-butyl-4-methylphenol (DTBMP), *para*-cumylphenol (PCP), 2,2,6,6-tetramethylpiperidine-1-oxyl (TMPO) and dicumyl peroxide (DCP) on the anti-wear properties of dodecanethiol (DdSH), didodecyl disulfide (Dd<sub>2</sub>S<sub>2</sub>) and dibutyl disulfide (Bu<sub>2</sub>S<sub>2</sub>) in a solution of purified Vaseline oil (PVO) has been investigated. The anti-wear properties of 21 two-component compositions of additives from 28 possible combinations were studied. A rule was proposed: synergy is when the effectiveness of a mixture of additives is greater than the average result of the sum of anti-wear efficiencies of each component separately, and antagonism is when the effectiveness of a mixture of additives is less than the average result of the sum of anti-wear efficiencies of each component in separately. The practical significance of the proposed method for studying two-component additives is that it can be used to confirm or refute the mechanism of action of additives.

**Keywords:** anti-wear properties, synergism, antagonism, boundary friction, iron dithiolates, sulfur-containing additives.

**DOI:** 10.32864/0202-4977-2023-44-1-85-92

---

### Адрес для переписки:

Г.Ф. Павелко  
Институт нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиева РАН,  
Ленинский просп., 29, г. Москва 119991, Россия  
e-mail: [george.pavelko@gmail.com](mailto:george.pavelko@gmail.com)

### Для цитирования:

Г.Ф. Павелко  
Синергизм и антагонизм противозносных добавок как метод подтверждения механизма их действия.  
Трение и износ.  
2023. – Т. 44, № 1. – С. 85–92.  
**DOI:** 10.32864/0202-4977-2023-44-1-85-92

---

### Address for correspondence:

G.F. Pavelko  
Institute of Petrochemical Synthesis A.V. Topchiev RAS,  
Leninsky Prospekt, 29, Moscow 119991, Russia  
e-mail: [george.pavelko@gmail.com](mailto:george.pavelko@gmail.com)

### For citation:

G.F. Pavelko  
[Synergism and Antagonism of Anti-Wear Additives as a Method of Confirming the Mechanism of Their Action].  
*Trenie i Iznos*.  
2023, vol. 44, no. 1, pp. 85–92 (in Russian).  
**DOI:** 10.32864/0202-4977-2023-44-1-85-92

## Список использованных источников

1. **Davey W.** Extreme Pressure Lubrication // *Sci. Lubr.* — 1955 (7), no. 6, 23—27
2. **Kaltchev M., Kotvis P.V., Blunt T.J., Lara J., and Tysoe W.T.** A Molecular Beam Study of the Tribological Chemistry of Dialkyl Disulfides // *Tribol. Lett.* — 2001 (10), no. 1–2, 45—50
3. **Mori Sliigeyuki and Imaizumi Yosliito.** Adsorption of Model Compounds of Lubricant on Nascent Surfaces of Mild and Stainless Steels under Dynamic Conditions // *Tribol. Trans.* — 1988 (31), no. 4, 449—453 DOI: 10.1080/10402008808981847
4. **Hiratsuka Ken'ichi and Kajdas Czeslaw.** Mechanochemistry as a Key to Understand the Mechanisms of Boundary Lubrication, Mechanolysis and Gas Evolution during Friction // *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Pad J: Journal of Engineering Tribology.* — 2013 (227), no. 11, 1191—1203. DOI: 10.1177/1350650113483222
5. **Павелко Г.Ф.** Трибохимическое взаимодействие тиолов, органических сульфидов и дисульфидов с железом // *Трение и износ.* — 1999 (20), № 4, 412—420
6. **Павелко Г.Ф.** Взаимодействие тиолов и органических дисульфидов с железом и его оксидами // *Известия Академии наук. Серия химическая.* — 2006, № 8, 1383—1386. DOI:10.1007/s11172-006-0436-3
7. **Dunglison Robley.** *Medical Lexicon. A Dictionary of Medical Science. Ninth Edition. Revised.* — Philadelphia: Blanchard and Lea. — 1853, P. 80 and 835
8. **Химическая энциклопедия.** — М.: Большая российская энциклопедия. — 1995 (4), 352 (695)
9. **Papcock K.K., Krein S.E., Vipper A.B., Zuseva B.S., Zarubin A.P., and Smirnov M.S.** Synergistic Effects of Various Additive Combinations on Motor Oil Performance // *Proc. 7<sup>th</sup> World Petr. Congress.* — 1967 (8), 85
10. **Папок К.К., Рагозин Н.А.** *Словарь по топливам, маслам, смазкам, присадкам и специальным жидкостям.* — М.: Химия — 1975
11. **Борзенкова А.Я.** Исследование совместного действия фенольных антиоксидантов с серосодержащими ускорителями: канд. дис. — М.: МИТХ им. М.В. Ломоносова. — 1972
12. **Золотов В.А., Бакунин В.Н.** Синергизм противозносного действия тиофосфатных и тиокарбаминных соединений в композиции углеводородного масла // *Нефтепереработка и нефтехимия.* — 2020 № 4, 33—35
13. **Guegan J., Southby M., and Spikes H.** Friction Modifier Additives, Synergies and Antagonisms // *Tribol. Lett.* — 2019 (67), no. 83, 1—12. <https://doi.org/10.1007/s11249-019-1198-z>
14. **Reid E.E.** *Organic Chemistry of Bivalent Sulfur.* — N.Y.: Chemical Publishing CO.— 1960. III, 396
15. **Розанцев Э.Г.** Свободные иминоксильные радикалы. — М.: Химия — 1970, 191—192
16. **Мидлтон М.Р.** Анализ статистических данных с использованием Microsoft Excel Office XP. Перевод с английского издания под ред. Г.М. Кобелькова. — М.: БИНОМ. Лаборатория знаний. — 2005, 46
17. **Ramakumar S.S.V., Aggarwal N., Rao A.M., Sarpal A.S., Srivastava S.R., and Bhatnagar A.K.** Studies on Additive-Additive Interactions: Effects of Dispersant and Antioxidant Additives on the Synergistic Combination of Overbased Sulphonate and ZDDP // *Lubr. Sci.* — 1994 (7), no. 1, 25—38. DOI: 10.1002/ls.3010070103
18. **Meyer K.** Synergistische und antagonistische Wirkungen zwischen Schmierstoffkomponenten und ihr Einfluss auf ausgewählte tribologische Eigenschaften 1 // *Schmierungstechnik* — 1989 (20), no. 3, 68—74, 85
19. **Meyer K.** Synergistische und antagonistische Wirkungen zwischen Schmierstoffkomponenten und ihr Einfluss auf ausgewählte tribologische Eigenschaften 2 // *Schmierungstechnik* — 1989 (20), no. 4, 103—107, 108

## References

1. **Davey W.** Extreme Pressure Lubrication // *Sci. Lubr.* — 1955 (7), no. 6, 23—27
2. **Kaltchev M., Kotvis P.V., Blunt T.J., Lara J., and Tysoe W.T.** A Molecular Beam Study of the Tribological Chemistry of Dialkyl Disulfides // *Tribol. Lett.* — 2001 (10), no. 1–2, 45—50
3. **Mori Sliigeyuki and Imaizumi Yosliito.** Adsorption of Model Compounds of Lubricant on Nascent Surfaces of Mild and Stainless Steels under Dynamic Conditions // *Tribol. Trans.* — 1988 (31), no. 4, 449—453. DOI: 10.1080/10402008808981847
4. **Hiratsuka Ken'ichi and Kajdas Czeslaw.** Mechanochemistry as a Key to Understand the Mechanisms of Boundary Lubrication, Mechanolysis and Gas Evolution during Friction // *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Pad J: Journal of Engineering Tribology.* — 2013 (227), no. 11, 1191—1203. DOI: 10.1177/1350650113483222
5. **Pavelko G.F.** Tribochemical Reactions of Thiols, Organic Sulfides and Disulfides with Iron // *Journal of Friction and Wear.* — 1999 (20), no. 4, 50—56
6. **Pavelko G.F.** Reaction of Thiols and Organic Disulfides with Iron Group Metals and Their Oxides // *Russian Journal of Inorganic Chemistry.* — 2015 (60), no. 11, 1394—1398. DOI: 10.1134/S0036023615110121
7. **Dunglison Robley.** *Medical Lexicon. A Dictionary of Medical Science. Ninth Edition. Revised.* — Philadelphia: Blanchard and Lea. — 1853, P. 80 and 835
8. **Himicheskaya enciklopediya.** — М.: Bol'shaya rossijskaya enciklopediya. — 1995 (4), 352 (695) (in Russian)
9. **Papcock K.K., Krein S.E., Vipper A.B., Zuseva B.S., Zarubin A.P., and Smirnov M.S.** Synergistic Effects of Various Additive Combinations

- on Motor Oil Performance // Proc. 7th World Petr. Congress. — 1967 (8), 85
10. **Papok K.K., Ragozin N.A.** Slovar' po toplivam, maslam, smazkam, prisadkam i special'nyim zhidkostyam. — M.: Himiya — 1975 (in Russian)
  11. **Borzenkova A.Ya.** Issledovanie sovместnogo dejstviya fenol'nykh antioksidantov s serosoderzhashchimi uskoritelyami: kand. dis. — M.: MITH im. M.V. Lomonosova. — 1972 (in Russian)
  12. **Zolotov V.A., Bakunin V.N.** Sinergizm protivoznosnogo dejstviya tiosfatnykh i tiokarbaminovykh soedinenij v kompozicii uglevodorodnogo masla // Neftpererabotka i neftekhimiya. — 2020 № 4, 33—35 (in Russian)
  13. **Guegan J., Southby M., Spikes H.** Friction Modifier Additives, Synergies and Antagonisms // Tribol. Lett. — 2019 (67), no. 83, 1—12. <https://doi.org/10.1007/s11249-019-1198-z>
  14. **Reid E.E.** Organic Chemistry of Bivalent Sulfur. — N.Y.: Chemical Publishing CO. — 1960. III, 396
  15. **Rozancev E.G.** Svobodnye iminoksil'nye radikaly. — M.: Himiya — 1970, 191—192 (in Russian)
  16. **Midlton M.R.** Data Analysis Using Microsoft Excel Updated for Office XP / Third Edition. — United States: Thomson Brooks/Cole. — 2005
  17. **Ramakumar S.S.V., Aggarwal N., Rao A.M., Sarpal A.S., Srivastava S.R., and Bhatnagar A.K.** Studies on Additive-Additive Interactions: Effects of Dispersant and Antioxidant Additives on the Synergistic Combination of Overbased Sulphonate and ZDDP // Lubr. Sci. — 1994 (7), no. 1, 25—38. DOI: 10.1002/ls.3010070103
  18. **Meyer K.** Synergistische und antagonistische Wirkungen zwischen Schmierstoffkomponenten und ihr Einfluss auf ausgewählte tribologische Eigenschaften 1 // Schmierungstechnik. — 1989 (20), no. 3, 68—74, 85
  19. **Meyer K.** Synergistische und antagonistische Wirkungen zwischen Schmierstoffkomponenten und ihr Einfluss auf ausgewählte tribologische Eigenschaften 2 // Schmierungstechnik — 1989 (20), no. 4, 103—107, 108

Для приобретения полного текста статьи, обращайтесь в редакцию журнала.  
Адрес редакции: 246050, ул. Кирова 32а, г. Гомель, Беларусь. Телефон/факс: +375 (232) 34 06 36 / 34 17 11  
Full text of articles can be purchased from the editorial office.  
Address: 32a Kirov Street, Gomel, Belarus, 246050. Phone: +375 (232) 34 06 36. Fax: +375 (232) 34 17 11  
E-mail: [FWJ@tut.by](mailto:FWJ@tut.by)