

# Влияние гамма-излучения на эксплуатационные свойства моторных масел на минеральной основе

\* А. А. Жосан, М. М. Ревякин, С. И. Головин

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина»,  
г. Орел, 302019, Россия, \*e-mail: [a-josan@yandex.ru](mailto:a-josan@yandex.ru)*

Представлены результаты влияния ионизирующего излучения на эксплуатационные свойства моторного масла с металлосодержащими присадками. Выявлено, что облучение моторного масла на минеральной основе различными дозами гамма-излучения не оказывает существенного влияния на его вязкость и щелочное число. Облучение малыми дозами способствует уменьшению поверхностного натяжения моторного масла за счет активизации полярно-активных компонентов присадок и образования дополнительных полярно-активных соединений, а также увеличению электропроводности за счет повышения концентрации ион-радикальных комплексов, что положительно сказывается на эксплуатационных свойствах моторного масла. Методом определения трибологических характеристик на машине трения установлено, что облучение моторного масла малой дозой гамма-излучения способствует повышению противоизносных и антифрикционных свойств. Оптимальная доза облучения моторного масла на минеральной основе, обеспечивающая максимальное изменение его эксплуатационных свойств, – 2 крад.

*Ключевые слова: моторное масло, гамма-облучение, радиолиз, эксплуатационные свойства, доза облучения.*

УДК 665.6/7: 66.085

DOI: 10.5281/zenodo.1168370

## ВВЕДЕНИЕ

С развитием научно-технического прогресса появились новые методы и способы воздействия на материалы, вызывающие изменения их структуры и основных эксплуатационных показателей. К этим методам относится воздействие ионизирующих излучений (электронами, гамма-квантами, рентгеновскими лучами, протонами, дейтронами, альфа-частицами, нейтронами) на органические соединения и, в частности, на смазочные материалы.

К настоящему времени опубликовано большое количество работ, посвященных изучению действия ионизирующих излучений на различные углеводороды, минеральные и синтетические масла и смазки [1–8], что позволило установить общие закономерности радиолиза смазочных материалов.

В основе изменений, происходящих в смазочных материалах под воздействием радиации, лежат физические и химические процессы, сущность которых заключается в передаче энергии от ядерных частиц или квантов излучения атомам и молекулам смазочного материала.

Величина энергии, передаваемой в элементарных актах взаимодействия радиации с материалом, зависит от типа излучения и от химического состава облучаемого материала. Сведения о первичных энергетических состояниях поглотителя получают преимущественно в

результате анализа конечных химических или физических эффектов, вызванных облучением.

Цель представленной работы – изучение изменения физико-химических и эксплуатационных свойств моторных масел с металлосодержащими присадками под действием ионизирующего излучения  $Co^{60}$ .

Гамма-излучения  $Co^{60}$  относятся к электромагнитным излучениям с энергией 1,25 МэВ.

Электромагнитные излучения, в отличие от заряженных частиц, не имеют определенного пробега в веществе, а полностью поглощаются в одном акте взаимодействия.

Гамма-кванты передают свою энергию через фотоэффект, комптон-эффект и процесс образования пар электрон-позитрон. Основная часть эффектов, происходящих в органических соединениях, при облучении гамма-квантами с энергией 1,25 МэВ обусловлена комптоновским рассеянием (эффект Комптона) [9, 10]. При этом эффекте гамма-квант взаимодействует с электроном вещества и передает ему часть своей энергии, изменяя направление распространения в веществе. При этом происходит выброс из атома вещества электрона отдачи. Если энергия гамма-кванта составляет 1,25 МэВ, то энергия комптоновского электрона равна примерно 0,45 МэВ, а рассеянного гамма-кванта – 0,55 МэВ.

Первичные радиационно-химические процессы, протекающие при прохождении ионизирующего излучения через вещество за первые

$10^{-14}$  с, приводят к образованию ионов и возбужденных молекул, которые, в свою очередь, способствуют диссоциации и разрыву химических связей с образованием свободных радикалов [3, 11–13].

У многоатомных молекул в составе смазочных материалов возникает состояние электронного, колебательного и вращательного возбуждения, при этом каждому состоянию электронного возбуждения сопутствует ряд возбужденных колебательных и вращательных состояний.

Вторичные радиационно-химические процессы, протекающие после актов первичной ионизации и возбуждения, приводят к конечным молекулярным продуктам [11–13]. Эти процессы продолжаются приблизительно  $10^{-2}$  с. Все первичные и вторичные процессы протекают по существу за время, близкое к нулю.

Протекание этих процессов зависит, в первую очередь, от природы возникающих свободных радикалов и возбужденных молекул, то есть от строения и свойств облучаемых продуктов.

Радиационно-химические процессы (реакции замещения, диссоциации, присоединение радикалов к ненасыщенной молекуле, изомеризация радикала), протекающие в органических соединениях под воздействием гамма-излучений, приводят к синтезу и разложению, полимеризации и деструкции, окислению и восстановлению или комбинации этих процессов. Совокупность микроскопических процессов, происходящих под действием радиоактивного излучения, как следствие, способствует изменению его физико-химических и эксплуатационных свойств.

На протекание радиационно-химических процессов и на выход продуктов радиолитического разложения существенное влияние оказывают параметры, характеризующие внешние условия, физическое состояние облучаемого вещества, а также линейная передача энергии, присутствие различных добавок, температура, топография поля излучения и мощность дозы облучения. [14–16].

Имеющийся в настоящее время массив информации по радиационной химии сложных органических соединений (в том числе минеральных масел) все еще не дает сформулировать определенное теоретическое суждение о прогнозируемом ходе определенной радиационно-химической реакции. Следовательно, отдельные процессы механизма радиационного изменения структуры масел могут быть сформулированы по радиолитическому разложению индивидуальных органических соединений.

#### ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО РЕЖИМА ОБРАБОТКИ МАСЛА ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЕМ

Для изучения влияния гамма-излучения на изменение физико-химических показателей

моторного масла осуществлено облучение товарного масла М-10Г<sub>2</sub> ГОСТ 17479.1-85 (с изм. № 3) различными дозами мощностью 8,5 рад/с с использованием гамма-установки с источником гамма-излучения  $Co^{60}$ .

Полученные результаты (рис. 1 и 2) показывают, что облучение масла как малыми дозами гамма-излучения (до 3,0 крад), так и более высокими ( $10^2$ – $10^4$  крад) не оказывает влияния на изменение вязкости и щелочного числа.

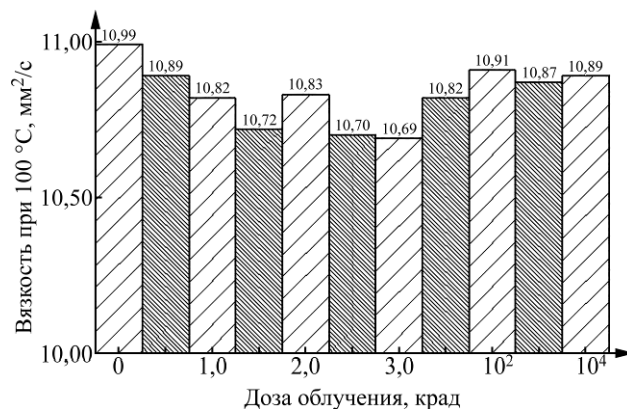


Рис. 1. Изменение вязкости моторного масла в зависимости от дозы гамма-облучения.

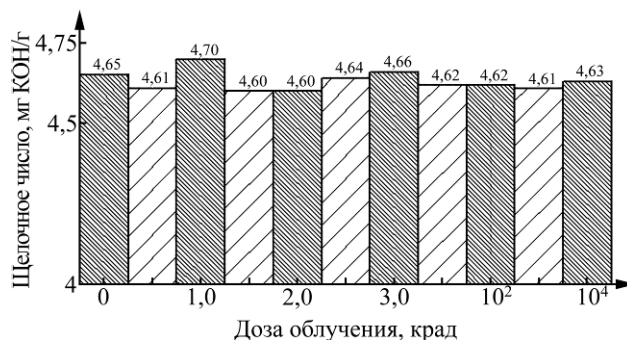


Рис. 2. Изменение щелочного числа в зависимости от дозы гамма-облучения.

Поверхностное натяжение является молекулярно-поверхностной характеристикой масел с присадками. Оно дает возможность судить об общем содержании полярных компонентов в маслах, а также об их смазочных свойствах.

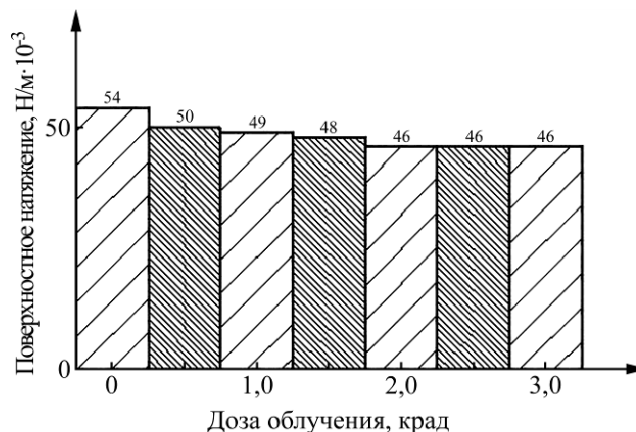


Рис. 3. Изменение поверхностного натяжения в зависимости от дозы гамма-облучения.

Результаты определения поверхностного натяжения (рис. 3) исследуемого моторного масла показали, что оно снижается на 11,5% при дозе облучения 2 крад, а в дальнейшем остается почти постоянным.

Изменение поверхностного натяжения ( $\Pi.н$ ) от дозы гамма-облучения ( $D_\gamma$ ) описывается зависимостью:

$$\Pi.н(D_\gamma) = 53,634 \times D^{-0,0851}. \quad (1)$$

Известно, что поверхностное натяжение является функцией молекулярных сил, геометрии молекул и числа атомов в них. Так как поверхностное натяжение есть свободная энергия поверхностного слоя, то определяющими его факторами являются: свободная энергия межмолекулярных сил, ориентация молекул в поверхностном слое, определяющая направление силовых полей, присутствие молекул одной фазы во второй, химическое взаимодействие молекул обеих граничных фаз. Полученные экспериментальные данные по исследованию зависимости поверхностного натяжения моторного масла от дозы гамма-излучения позволяют сделать следующие предположения: при воздействии ионизирующих излучений в моторном масле протекают различные процессы, которые оказывают влияние на факторы, определяющие его поверхностное натяжение. Снижение поверхностного натяжения является результатом активизации полярно-активных компонентов присадок масла, а также образования дополнительно полярно-активных соединений. Известно, что с понижением поверхностного натяжения повышается поверхностная активность смазочных материалов, а с повышением поверхностной активности масел увеличивается истинная площадь контакта между трущимися поверхностями и соответственно должны уменьшаться локальные напряжения, что приведет к снижению величины износа.

При действии ионизирующих излучений в углеводородах возникают заряженные частицы (ионы и электроны) и возбужденные молекулы, которые обладают электрическим зарядом.

Появляющаяся при ионизации молекулы пара зарядов только в том случае даст вклад в ток через образец, находящийся в электрическом поле, если составляющие ее положительный ион и электрон не рекомбинируют друг с другом.

С образованием свободных зарядов при радиоллизе органических соединений должна изменяться и электропроводность облученного смазочного материала.

Результаты исследований показали, что электропроводность (рис. 4) изменяется от дозы гамма-излучения. Наибольшее увеличение

электропроводности (около 11%) произошло в образце, который облучен дозой в 2 крад. При дальнейшем увеличении дозы гамма-излучения наблюдается понижение электропроводности моторного масла.

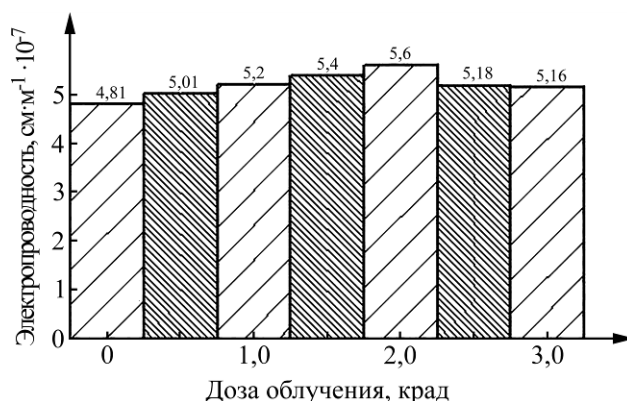


Рис. 4. Изменение электропроводности в зависимости от дозы гамма-облучения.

Характер изменения электропроводности ( $\mathcal{E}$ ) от дозы гамма-облучения ( $D_\gamma$ ) описывается зависимостью:

$$\mathcal{E}(D_\gamma) = -0,019D^6 + 0,051D^5 - 0,535D^4 + 2,748D^3 - 7,187D^2 + 9,105D + 0,627. \quad (2)$$

Характерным является то, что эта доза способствует и максимальному понижению поверхностного натяжения.

Изменение электропроводности масел, обработанных гамма-излучением, указывает на то, что по крайней мере часть носителей электрического тока, образованных при радиоллизе, избегает быстрой рекомбинации между собой.

Учитывая, что носителями электронного заряда в масле с присадками являются ион-радикальные комплексы (ИРК), можно предположить, что рост электропроводности облученных моторных масел связан с повышением концентрации ИРК в масле.

Следовало бы ожидать, что с ростом дозы облучения должна увеличиваться и концентрация ИРК, которая способствует повышению электропроводности масел. Однако из полученных данных видно, что электропроводность исследуемого моторного масла повышается при облучении до определенной дозы. При данной дозе в масле накапливается наибольшее количество ИРК, являющихся активными полярными частицами, способствующими повышению электропроводности масел. С превышением этой дозы облучения электропроводность масла понижается, вероятно, из-за того, что процесс рекомбинации носителей электрического тока происходит более интенсивно и вследствие этого электропроводность масла падает.

## Противоизносные и антифрикционные свойства товарного и облученного моторного масла

| Доза облучения, крад. | Противоизносные и антифрикционные свойства |                     |                               |       |             |          |
|-----------------------|--|---------------------|-------------------------------|-------|-------------|----------|
|                       | $P_k$ , кН                                 | Изменение $P_k$ , % | $P_{ку}$ , кН/мм <sup>2</sup> | $K_m$ | Изменение % | $C_{np}$ |
| 0                     | 0,9  | 100                 | 1,73                          | 0,09  | 100         | 0,43     |
| 1,0                   | 0,95                                       | 105,5               | 2,26                          | 0,085 | 94          | 0,46     |
| 2,0                   | 1,0  | 111,5               | 2,7                           | 0,078 | 87          | 0,51     |
| 3,0                   | 1,0  | 111,5               | 2,51                          | 0,082 | 91          | 0,495    |

Известно, что с ростом электропроводности моторных масел их моющее действие повышается. Учитывая это, можно предположить, что с повышением электропроводности масла в результате облучения улучшатся его моющие свойства. С образованием в облученных маслах активных полярных частиц в виде ИРК должна улучшаться и их смазывающая способность.

Опыты по определению противоизносных и антифрикционных свойств облученного моторного масла выполнялись на четырехшариковой машине трения.

Анализ полученных результатов (см. таблицу) показал, что облученные масла имеют лучшие противоизносные свойства. Максимальное увеличение критической нагрузки на 11,5% установлено для образца моторного масла, облученного дозой 2 крад, по сравнению с товарным маслом.

Антифрикционные свойства товарного и облученного масел оценивали по изменению коэффициента трения ( $K_m$ ) в зависимости от осевой нагрузки. Установлено, что интенсивность увеличения коэффициента трения в зависимости от осевой нагрузки при работе на образце масла, облученного дозой 2–2,5 крад, почти в 2 раза меньше, чем при работе на образце товарного моторного масла.

Из данных таблицы видно, что облучение моторного масла оптимальной дозой значительно улучшает противоизносные и антифрикционные свойства. Так, при дозе облучения 2 крад коэффициент трения снизился на 13% по сравнению с товарным маслом при нагрузках, не превышающих критические.

Известно, что  $СП_p$  (степень приближения реальной противоизносной характеристики масла к идеальной) – величина безразмерная, меньше единицы и характеризует смазывающие свойства масла. Из данных таблицы видно, что  $СП_p$  имеет большее значение у облученных масел.

Улучшение смазывающей способности облученных моторных масел объясняется их более высокой поверхностной активностью, чем товарных. Это приводит к образованию активных полярных частиц.

В результате лучшей адсорбции поверхностно-активных компонентов облученного масла на поверхности металла образуются более прочные граничные пленки, которые надежнее разделяют трущиеся поверхности, чем при применении товарного моторного масла. Однако адсорбируемость является лишь первым этапом активного участия облученного масла в процессе трения. С ростом нагрузки надежность разобщения трущихся поверхностей в основном зависит от химических процессов, развивающихся в тонкой прослойке масла, и появления продуктов разложения смазки.

Наличие в облученных маслах нестабильных продуктов радиолиза усиливает процессы окисления и разложения масел в зоне контактов при высоких удельных нагрузках, а образовавшиеся продукты термоокислительного распада смазки («полимеры трения») обеспечивают антифрикционное действие.

Облученные образцы масла оказывают также значительное влияние на снижение интенсивности процесса истирания смазываемых поверхностей. Интенсивность износа шаров на облученном масле дозой 2 крад примерно в 1,8 раза меньше, чем при применении товарного масла.

Снижение интенсивности при испытании на истирание облученных масел также можно обеспечить улучшением их смазывающей способности в результате активизации поверхностно-активных компонентов присадок масел, образованием дополнительно полярно-активных соединений и изменением структуры молекул масла.

Моющие свойства образцов масла, определенные на установке типа ПЗВ по ГОСТ 5726-2013, не изменялись в зависимости от дозы облучения и составляли 0,5 балла для всех образцов. Это можно объяснить тем, что использованная установка является недостаточно эффективной для оценки масел с высокими моющими свойствами.

Одновременно с определением моющих свойств определялись и противоизносные свойства, оцениваемые по результатам износа компрессионных колец. Предварительно кольцо прирабатывали на специальной установке. Износ компрессионных колец на образце моторного

масла, облученного дозой 2 крад, был меньше на 35% по сравнению с износом колец при работе установки на товарном масле.

### ВЫВОДЫ

Таким образом, проведенные испытания товарного моторного масла М-10Г<sub>2</sub> и этого же масла, облученного гамма-излучением, по оценке физико-химических показателей, свидетельствуют о том, что:

– гамма-излучение оказывает влияние на эксплуатационные свойства моторного масла;

– оптимальной дозой облучения масла является доза в 2 крад, под влиянием которой максимально изменяются его эксплуатационные свойства;

– под влиянием оптимальной дозы облучения электропроводность масла повышается на 11%, поверхностное натяжение снижается на 11,5%, противозадирные и антифрикционные свойства повышаются на 13%, а противоизносные – на 35%;

– физико-химические показатели, такие как вязкость, щелочное число, под влиянием малых доз гамма-излучения практически не изменяются.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Боуден Ф.П., Тейбор Д. *Трение и смазка*. М.: Машгиз, 1960. 151 с.
2. Боуден Ф.П., Тейбор Д. *Трение и смазка твердых тел*. М.: Машиностроение, 1968. 544 с.
3. Бор Н. *Прохождение атомных частиц через вещество*. М.: Иностранная литература, 1950. 149 с.
4. Чарлзби А. *Ядерные излучения и полимеры*. М.: Иностранная литература, 1962. 524 с.
5. Милинчук В.К., Клишпонт Э.Р., Тупиков В.И. *Основы радиационной стойкости органических материалов*. М.: Энергоатомиздат, 1994. 256 с.
6. Денисов А.В., Дубровский В.Б., Соловьев В.Н. *Радиационная стойкость минеральных и полимерных строительных материалов*. М.: Издательский дом МЭИ, 2012. 384 с.
7. Козлов Ю.Д., Стефаненко И.В., Ермолаев С.В. и др. *Высокие технологии с использованием источников*

*ионизирующих излучений в промышленности*. М.: Энергоатомиздат, 2006. 714 с.

8. Олейничак А., Шостенко А.Г., Трушковский С. и др. *Химия высоких энергий*. 2008. **42**(2), 121–123.
9. Борн М. *Атомная физика*. Под редакцией Б.В. Медведева. М.: Мир, 1970. 477 с.
10. Гайтлер В. *Квантовая теория излучения*. М.: Иностранная литература, 1956. 490 с.
11. Заславский Ю.С. *Радиационная стойкость смазочных материалов*. М.: Госатомиздат, 1961. 158 с.
12. Болт Р., Кэрролл Дж. *Действие радиации на органические материалы*. Под редакцией В.Л. Карпова М.: Атомиздат, 1965. 499 с.
13. Своллоу А. *Радиационная химия органических соединений*. М.: Иностранная литература, 1963. 408 с.
14. Пикаев А.К. *Современная радиационная химия: Радиолит газы и жидкостей*. М.: Наука, 1986. 360 с.
15. Чарлзби А. *Ядерные излучения и полимеры*. М.: Иностранная литература, 1962. 524 с.
16. Пнежецкий С.Я. *Механизм радиационно-химических реакций*. М.: Химия, 1968. 368 с.

Поступила 17.11.17

### Summary

The results of the influence of ionizing radiation on the operational properties of engine oil with metal-containing additives are presented. It was found that irradiation of mineral-based motor oil with various doses of gamma radiation does not significantly affect its viscosity and alkali value. Irradiation with low doses contributes to a decrease in the surface tension of the motor oil due to the activation of polar active additive components and the formation of additional polar active compounds, as well as an increase in electrical conductivity due to an increase in the concentration of ion-radical complexes, which has a positive effect on the performance properties of the engine oil. The method of determining the tribological characteristics of the friction machine has established that irradiation of the motor oil with a low dose of gamma radiation contributes to an increase in anti-wear and anti-friction properties. The optimum dose of irradiation of a mineral-based engine oil, providing the maximum change in its performance properties, is a dose of 2 krad.

*Keywords: motor oil, gamma irradiation, radiolysis, operational properties, radiation dose.*