

*В. В. Чапуркин, С. В. Чапуркин*

**ВУЛКАНИЗАЦИЯ ФТОРЭЛАСТОМЕРОВ ФТОРПЕРОКСИДАМИ  
НА ОСНОВЕ ПОЛИФТОРИРОВАННЫХ КАРБОНИЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ**

**Волгоградский государственный технический университет**

E-mail: chapurkin@vstu.ru

Фторпероксиды на основе полифторированных карбонильных соединений являются эффективными вулканизирующими агентами фторэластомеров, что выражается в улучшении свойств вулканизатов: повышении физико-механических показателей, термо- и химстойкости.

**Ключевые слова:** фторпероксиды, полифторированные карбонильные соединения, фторэластомеры, вулканизаты.

Эластомерные материалы на основе фтор-каучуков способны сохранять свои свойства в экстремальных условиях, в частности, в агрессивных средах и под воздействием высоких температур и механических напряжений [1, 2], что обуславливает их успешное применение,

например, для создания пленочных защитных покрытий различного оборудования, работающего в особо жестких условиях.

Фторэластомеры (ФЭ) благодаря содержанию атомов фтора обеспечивают высокую теплостойкость, стойкость к воздействию топлив,

масел, смазок, гидрожидкостей, а также химическую инертность и атмосферостойкость резин [1]. Вместе с тем свойства резин существенно зависят от используемых для их вулканизации структурирующих агентов. Все большее применение для вулканизации фторкаучуков находят пероксидные инициаторы [3, 4]. При эксплуатации ФЭ в агрессивных средах преимущество пероксидной вулканизации неоспоримо, так как бисфенольные вулканизирующие системы можно использовать только в присутствии гидроксида кальция, а взаимодействие последнего с кислотами вызывает набухание в них резин.

Исследования показали перспективность и преимущество вулканизации фторкаучуков пероксидами [4]. В отличие от смесей, вулканизованных бисфенолами, фторкаучуки, вулканизованные пероксидами, стабильны при хранении, в том числе при высокой влажности. Кроме того, для эксплуатации при высоких температурах рекомендуют увеличивать содержание фтора в зависимости от увеличения температуры.

Наиболее употребляемым вулканизирующим агентом для фторкаучуков является пероксидом F-40 [5].

В качестве структурирующего агента широко используются соединения, содержащие третбутилпероксидную или кумилпероксидную группы [6]. Применение фторсодержащих пероксидов в качестве структурирующих агентов фторкаучуков, дает возможность получать композиции, обладающие повышенной стойкостью к воздействию тепла, озона, агрессивных сред и растворителей, что обусловлено введением фторалкильных групп в структуру полимера [7]. В литературе описано применение фторзамещенных производных бензоилпероксида [2], а также и других диацильных пероксидов [8, 9]. Однако при распаде диацильных пероксидов образуются кислоты, ускоряющие старение композиций. Ранее авторами была показана эффективность применения фторсодержащих пероксидных инициаторов при сшивке фторкаучука СКФ-32 под воздействием лазерного излучения [10–13].

Для разработки новых подходов к созданию пленочных защитных покрытий на основе фторкаучуков с необходимым комплексом свойств потребовались фторпероксидные инициаторы, не имеющие представленных недостатков и являющихся эффективными структурирующими агентами фторкаучуков.

Настоящая работа посвящена изучению вулканизирующей эффективности новых фторсодержащих пероксидов, синтезированных на основе полифторированных ди- и тетракарбонильных соединений. Исследования последних лет показали, что имеет место новое направление структурирования фторкаучуков фторпероксидными инициаторами. Введение атомов фтора в молекулу пероксидного соединения приводит к получению более стабильных пероксидов по сравнению с нефторированными аналогами. При этом синтезированные фторсодержащие пероксиды являются эффективными агентами структурирования фторкаучуков и позволяют получать новые эластомерные материалы с улучшенным комплексом свойств.

Пленки из растворов фторэластомеров СКФ-26 и СКФ-260 готовили и вулканизовали при использовании фторпероксидов (I–VIII) по разработанной ранее методикой [10, 15].

Авторами были определены физико-механические показатели и проведены испытания на химическую стойкость для эластомерных композиций на основе фторкаучука СКФ-32, структурированных при использовании новых фторпероксидных соединений. Данные, приведенные в табл. 1, показывают, что применение фторпероксидов (I–III) приводит к созданию вулканизатов с более высокими физико-механическими свойствами, так, в 2–3 раза повышается сопротивление разрыву. Относительное удлинение возрастает более чем в 4 раза, при этом остаточное удлинение остается низким, что указывает на отсутствие пластической составляющей разрывной деформации вулканизатов. При сравнении показателей пленок, полученных при использовании в качестве структурирующих агентов фторированных пероксидов (I–III) и перфторацильного (перфторэнантоилпероксида), видно, что в случае применения (I–III) прочностные свойства в 1,5 раза выше, чем для ПФЭП. Для ПФЭП оптимальной температурой структурирования является 60 °С, так как этот пероксид низкотемпературный и применение его при более высокой температуре приводит к снижению его иницирующей активности.

Содержание фторпероксидов (I–III) в пленке целесообразно использовать в пределах 2...6 масс. ч. на 100 масс. ч. фторкаучука, предпочтительно 4 масс. ч. При снижении дозировки пероксида пленка получается с меньшей степенью структурирования, на что указывает повышенное значение относительного и остаточного удлинения, а также уменьшение прочности пленки.

Таблица 1

## Физико-механические свойства пленок СКФ-32, структурированных фторпероксидами (I–III)

| Пероксид | Содержание пероксида, масс.ч. | Режим структурирования |            | Условная прочность при разрыве, МПа | Относительное удлинение при разрыве, % | Остаточное удлинение, % | Прозрачность (визуально) |
|----------|-------------------------------|------------------------|------------|-------------------------------------|----------------------------------------|-------------------------|--------------------------|
|          |                               | Т °С                   | Время, мин |                                     |                                        |                         |                          |
| I        | 2                             | 120                    | 30         | 3,5                                 | 130                                    | 4                       | Прозрач.                 |
|          | 4                             |                        |            | 3,8                                 | 125                                    | 3                       |                          |
|          | 6                             |                        |            | 4,1                                 | 115                                    | 3                       |                          |
| II       | 2                             | 130                    | 30         | 4,2                                 | 120                                    | 3                       | Прозрач.                 |
|          | 4                             |                        |            | 4,5                                 | 115                                    | 3                       |                          |
|          | 6                             |                        |            | 4,7                                 | 110                                    | 2                       |                          |
| III      | 2                             | 160                    | 30         | 4,5                                 | 130                                    | 3                       | Прозрач.                 |
|          | 4                             |                        |            | 4,7                                 | 125                                    | 3                       |                          |
|          | 6                             |                        |            | 5,1                                 | 100                                    | 2                       |                          |
| ПФПЭ     | 2                             | 60                     | 30         | 3,2                                 | 80                                     | 4                       | Прозрач.                 |
|          | 4                             |                        |            | 3,6                                 | 75                                     | 4                       |                          |
|          | 6                             |                        |            | 3,5                                 | 65                                     | 3                       |                          |
| ПБ       | 2                             | 160                    | 30         | 1,6                                 | 30                                     | 5                       | Мутная                   |
|          | 4                             |                        |            | 2,4                                 | 28                                     | 4                       |                          |
|          | 6                             |                        |            | 2,3                                 | 26                                     | 4                       |                          |

В связи с тем, что полифторсодержащие пероксидные соединения проявили себя как эффективные структурирующие агенты фторкаучуков, представляло интерес изучение влияния различных фторированных групп на химическую стойкость и прочностные свойства пленок на основе фторкаучуков. При получении фторированных пленок не используются ингредиенты, носящие полифункциональный характер, что позволяет оценить иницирующее действие непосредственно фторпероксидного инициатора на свойства фторпленок. С этой целью было проведено структурирование пленок на основе фторкаучука СКФ-260. Образцы термостатировали при 120 °С в течение получаса. Защитные свойства полученных композиций были испытаны на стойкость к химическим средам. Испы-

тания проводились в соответствии с ГОСТ 12020-72. В качестве сред были выбраны: толуол (по ГОСТ 5789) с массовой долей 100 %, серная кислота (по ГОСТ 4204) раствор с массовой долей 98 %, смесь серной и азотной кислоты в соотношении 1:1 (по ГОСТ 4204 и ГОСТ 4461), где растворы с массовыми долями 98 % и 60 % соответственно, а также уксусная кислота (по ГОСТ 61) с массовой долей 100 %. Изучена стойкость полученных пленок к химическому старению в смеси  $H_2SO_4 : HNO_3$  (1 :1) в течение 3-х суток при температуре 30 °С. Была также изучена стойкость полученных пленок к набуханию в толуоле. Данные по испытанию структурированного фторпероксидами каучука СКФ-260 представлены в табл. 2.

Таблица 2

## Влияние строения фторсодержащих пероксидов на свойства пленок из структурированного СКФ-260

| Пероксид | Условная прочность при разрыве, МПа | Относительное удлинение при разрыве, % | Остаточное удлинение, % | Степень набухания в толуоле (8 суток), % | Цвет и прозрачность пленок |
|----------|-------------------------------------|----------------------------------------|-------------------------|------------------------------------------|----------------------------|
| ---      | 0,7                                 | 720                                    | 100                     | -                                        | прозр. бесцв.              |
| ПБ       | 0,8/0,2                             | 760/640                                | 80/160                  | 16,0                                     | желтая, непрозр.           |
| I        | 3,6/2,8                             | 1120/940                               | 24/110                  | 9,1                                      | прозр. бесцв.              |
| II       | 3,8/2,9                             | 1100/900                               | 23/100                  | 9,0                                      | прозр. бесцв.              |
| III      | 4,5/2,1                             | 1080/900                               | 22/90                   | 8,8                                      | прозр. бесцв.              |

П р и м е ч а н и е : числитель – до старения в смеси кислот, знаменатель – после выдержки 72 часа, 30 °С, в смеси  $H_2SO_4 : HNO_3$  (1 :1).

Полученные результаты показывают, что использование фторпероксидов (I–III) позволяет значительно повысить физико-механические показатели пленок. Так, прочность повышается более чем в 3 раза, относительное удлинение возрастает в 1,5 раза. Необходимо отметить практически одинаковый уровень прочности и относительного удлинения пленок без структурирующего агента и пероксида бензоила при значительной величине остаточного удлинения, что свидетельствует о слабой структурирующей активности традиционного агента структурирования. Исследуемые фторпероксиды повышают плотность поперечного сшивания вулканизированных пленок, о чем свидетельствует 1,5–2-кратное снижение степени набухания в толуоле и остаточного удлинения.

Повышение прочности пленок может быть вызвано повышением степени сшивания эластомера.

Из полученных результатов видно, что пленки, полученные с использованием фторпероксидов (I–III), значительно меньше подвергаются химическому старению, чем структурированные нефторированным пероксидом бензоила. Физико-механические показатели вулканизатов, полученных с помощью фторпероксидов после выдержки в смеси кислот, в 8 раз выше, чем на основе пероксида бензоила.

Результаты испытаний (табл. 3) на химическую стойкость показывают увеличение химической стойкости по сравнению с пероксидом бензоила [5] и ди-*трет*-бутилпероксифенилметаном (ДТБПФМ).

Таблица 3

Результаты испытания стойкости пленки на основе СКФ-32, структурированной фторпероксидами (I–III) к действию химических сред

| Пероксид | Среда                                             | Время сут. | Изменение объема, % |
|----------|---------------------------------------------------|------------|---------------------|
| ПБ       | Толуол                                            | 3<br>7     | 23<br>26            |
|          | H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>                    | 3<br>7     | 1,8<br>2,5          |
|          | H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> и HNO <sub>3</sub> | 3<br>7     | 2,5<br>3,8          |
|          | Уксусная кислота                                  | 3<br>7     | 57<br>125           |
| ДТБПФМ   | Толуол                                            | 3<br>7     | 21<br>23            |
|          | H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>                    | 3<br>7     | 1,7<br>2,2          |
|          | H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> и HNO <sub>3</sub> | 3<br>7     | 2,4<br>3,5          |
|          | Уксусная кислота                                  | 3<br>7     | 54<br>119           |
| I        | Толуол                                            | 3<br>7     | 15<br>19            |
|          | H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>                    | 3<br>7     | 1,3<br>1,5          |
|          | H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> и HNO <sub>3</sub> | 3<br>7     | 2,1<br>3,0          |
|          | Уксусная кислота                                  | 3<br>7     | 47<br>102           |
| II       | Толуол                                            | 3<br>7     | 17<br>20            |
|          | H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>                    | 3<br>7     | 1,4<br>1,6          |
|          | H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> и HNO <sub>3</sub> | 3<br>7     | 2,0<br>3,1          |
|          | Уксусная кислота                                  | 3<br>7     | 48<br>104           |

Окончание табл. 3

| Пероксид | Среда                                             | Время сут. | Изменение объема, % |
|----------|---------------------------------------------------|------------|---------------------|
| III      | Толуол                                            | 3          | 15                  |
|          |                                                   | 7          | 18                  |
|          | H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>                    | 3          | 1,1                 |
|          |                                                   | 7          | 1,3                 |
|          | H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> и HNO <sub>3</sub> | 3          | 1,7                 |
|          |                                                   | 7          | 2,8                 |
|          | Уксусная кислота                                  | 3          | 44                  |
|          |                                                   | 7          | 98                  |

Приведенные в табл. 3 результаты показывают, что использование фторпероксидов (I–III) позволяет значительно повысить химическую стойкость пленок по сравнению с пероксидом бензоила. Так, более чем в 2 раза повышается стойкость к серной кислоте и смеси серной и азотной кислот, а также на 20–30 % возрастает стойкость к органическим растворителям (толуолу и уксусной кислоте.)

Следует отметить, что все композиции на основе фторсодержащих пероксидов прозрачные, чего нельзя сказать о пероксиде бензоила, следовательно, последний нельзя применять в тех случаях, где требуется прозрачность эластомера.

Полученные результаты, вероятно, обусловлены тем, что с повышением степени насыщения макромолекул каучука атомами фтора идет прививка поли- и перфторированных радикалов и группировок, образующихся при распаде фторпероксидов и участвующих в структурировании пленок.

Таким образом, в результате проведенных исследований установлено, что фторпероксидные производные поликарбонильных соединений являются эффективными структурирующими агентами фторкаучуков. Композиционные материалы из фторкаучуков, полученные при использовании исследованных фторпероксидных соединений, обладают повышенной прочностью, деформационными свойствами и химической стойкостью.

#### Экспериментальная часть

ИК-спектры регистрировали на спектрофотометре SpecordIR-75 в тонкой пленке для чистых маслообразных веществ, в вазелиновом масле – для кристаллических, спектры ЯМР <sup>1</sup>H – на спектрометрах VarianMercury-300 ВВ (300,73 МГц) и BrukerDRX-500 (500,13 МГц), внутренний стандарт – Me<sub>4</sub>Si.

Для исследований применялись фторкаучуки СКФ-32 и СКФ-260. (ГОСТ 18376-79) (ООО

«Завод полимеров ОАО «Кирово-Чепецкий химический комбинат»).

В качестве структурирующих агентов фторкаучуков при получении защитных пленочных покрытий были использованы следующие фторпероксиды:

*8-Гидрокси-6,6,8-тритрет-бутилперокси-8-фенил-2,2,3,3,4,4,5,5-октафторметилоктаноат (I)* синтезировали по методике, описанной в работе [14]. Получили (I) с выходом 94 %,  $\rho_D^{20}$  1,4494,  $d_4^{20}$  1,2242. ИК спектр,  $\nu$ , см<sup>-1</sup>: 840 (O-O), 1144 (COO), 1784 (C=O), 3322 (OH). Спектр ЯМР <sup>1</sup>H (ДМСО-d<sub>6</sub>),  $\delta$ , м. д.: 1,20 с (27H, (CH<sub>3</sub>)<sub>3</sub>C)], 2,74 к (2H, CH<sub>2</sub>, J=28 Гц), 3,92 с (3H, OCH<sub>3</sub>), 4,62 с (1H, OH), 7,15–8,05 м (5H, Ph).

*8-Гидрокси-6,6,8-тритрет-бутилперокси-2,2,3,3,4,4,5,5-октафторметилдеканоеат (II)*. Фторпероксид синтезировали по методике [14]. Выход 75 %.  $\rho_D^{20}$  1,3926,  $d_4^{20}$  1,3099. ИК-спектр,  $\nu$ , см<sup>-1</sup>: 864 (O-O), 944 (COO), 1796 (C=O), 3408–3444 (OH). Спектр ЯМР <sup>1</sup>H (ДМСО-d<sub>6</sub>),  $\delta$ , м. д.: 1,15 т (3H, CH<sub>3</sub> CH<sub>2</sub>, J=7 Гц), 1,18 с (27H, (CH<sub>3</sub>)<sub>3</sub>C), 2,33 м (2H, CH<sub>2</sub>CH<sub>3</sub>), 2,52 м (2H, CH<sub>2</sub>), 3,88 с (3H, OCH<sub>3</sub>), 5,16 с (1H, OH), 7,46–8,05 м (5H, Ph).

*3,14-Дигидрокси-3,14-ди-трет-бутил-перокси-1,16-дифенил-3-(декапер-фторметил)гексадекан-1,16-дион(III)*. Фторпероксид синтезировали по методике, описанной в работе [14]. Выход (63 %). Т. пл. 64–65 °С (разл.). ИК спектр,  $\nu$ , см<sup>-1</sup>: 850 (O-O), 1030 (COO), 1806 (C=O), 3402–3445 (OH). Спектр ЯМР <sup>1</sup>H (ДМСО-d<sub>6</sub>),  $\delta$ , м.д.: 1,21 с (18H, (CH<sub>3</sub>)<sub>3</sub>C), 3,81 к (4H, CH<sub>2</sub>, J=28 Гц)], 9,11 с (2H, OH)]. 7,49–7,93 м (10H, Ph)].

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Нудельман, З. Н. Фторкаучуки: основы, переработка, применение. М.: ООО «ПИФРИАС», 2007. – 384с.
2. Полоник, В. Д., Прокопчук Н. Р., Шашок Ж. С. Модификация эластомерных композиций фторорганическими соединениями // Каучук и резина. – № 2. – С. 16.
3. Feiring, A. E., Crawford M.K., Farnham W.B., Feldman J., French R.H., Leffew K.W., Petrov V.A., Schadt III

F.L., Wheland R.C., Zumsteg F.C. Design of very transparent fluoropolymer resists for semiconductor manufacture at 157 nm // *J. Fluorine Chem.* – 2003. – V. 122. – N 1. – P. 11–16. DOI: 10.1016/S0022-1139(03)00075-7

4. *Nudel'man, Z. N.* Fillers for fluoroelastomers // *Каучук и резина.* – 2005. – № 3. – С. 33–38.

5. *Чайкун, А. М., Юмашев О.Б.* Резины на основе кислородсодержащих фторкаучуков // *Каучук и резина.* – 2021. – № 4. – С. 192–198. DOI: 10.47664/0022-9466-2021-80-4-192-198

6. Свободнорадикальные вулканизующие агенты для насыщенных каучуков / З. Н. Нудельман, М. Г. Каплун, Л. С. Гейдыш, В. И. Мышковский. – Москва : ЦНИИТЭнефтехим, 1981. – 47 с.

7. *Пестов, А. В., Пузырев И. С., Мехаяев А. В., Горбунова Т. И., Салоутин В. И., Смирнов С. В., Вычужанин Д. И., Матафонов П. П.* Модифицирование адгезивных материалов на основе эпоксидных олигомеров фторсодержащими органическими соединениями // *Журнал прикладной химии.* – 2014. – Т. 87. – № 4. – С. 482–487. DOI: 10.1134/S10704272140400132.

8. *Kaplanek, R., Paleta O., Michalek J., Pradny M. J.* Perfluoroalkylated diblock-alkyl methacrylate monomers for biomedical applications: Wettability of their copolymers with HEMA and DEGA // *Fluorine Chem.* – 2005. – V. 126. – N 4. – P. 593–598. DOI: 10.1016/j.jfluchem.2005.01.004

9. *Guyot, B., Ameduri B., Boutevin B.* Synthesis and polymerization of novel fluorinated morpholino acrylates and methacrylates // *J. Fluorine Chem.* 1995.V.74.N 2.P.233-240. DOI: 10.1016/0022-1139(95)03281-H

10. *Чапуркин, В. В., Тескер С. Е., Тескер Е. И., Кокорина С. В.* Особенности сшивки фторкаучука СКФ-32 под воздействием излучения лазера // *Высокомолекулярные соединения. Серия Б.* 2003. – Т. 45. – № 2. – С. 353–357.

11. Пат. РФ 216117 (опубл. 2000). Способ получения антифрикционных покрытий.

12. Пат. РФ 2232780 (опубл. 2004). Способ получения покрытий на основе фторкаучука.

13. Пат. РФ 2421442 (опубл. 2011). Способ получения фторсодержащих тетракетонов.

14. *Чапуркин, В. В., Рахимов А. И., Ваниев М. А., Чапуркин С. В., Борисов С. В.* Синтез пероксидов на основе полифторсодержащих поликарбонильных соединений / В. В. Чапуркин, А. И. Рахимов, М. А. Ваниев, С. В. Чапуркин, С. В. Борисов // *ЖОХ.* – 2020. – Т. 90, Вып. 7. – С. 994–998 DOI: 10.1134/S1070363209020121.

15. *Чапуркин, В. В., Медведев В. П., Чапуркин С. В.* Структурирование фторэластомеров фторпероксидами // *ЖПХ.* – 2015. – Т. 88. – Вып. 8. – С. 1161–1167. DOI: 10.1134/S1070427215080091.

## REFERENCES

1. *Nudel'man, Z. N.* Fluoroelastomer: Fundamentals, Processing and application –M.: ООО «PIF RIAS», 2007. –384 p.

2. *Polonic, V. D.* Modification of the elastomer compositions of organomercury compounds / V.D. Polonic, H.R.Procophuc, G.S.Shashoc // *Kauchuk and rubber.* -2014. -N 2. -P.16-19.

3. *Feiring, A. E.* Design of very transparent fluoropolymer resists for semiconductor manufacture at 157 nm / A.E.Feiring., M.K.Crawford, W.B. Farnham et al // *J.Fluorine Chem.* -2003.-V.122. -N 1.-P.11-16.

4. *Nudel'man, Z. N.* Fillers for fluoroelastomers // *Каучук и резина.* 2005. № 3. С.33 - 38.

5. *Chaykun, A. M.* Rubbers based on oxygen-containing fluororubbers // A.M. Chaykun, O.B. Yumashev // *Kauchuk and rubber.* -2021. -N 4. -P. 192-198. DOI: 10.47664/0022-9466-2021-80-4-192-198]

6. Svobodnoradikal'nye vulkanizujushhie agenty dlja nasyshhennyh kauchukov / Z. N. Nudel'man, M. G. Kaplun, L. S. Gejdysh, V. I. Myshkovskij. - Moskva : CNITJenettehim, 1981. - 47 s.

7. *Pestov, A. V.* Modifying adhesives based on epoxy oligomers fluorinated organic compounds / *Pestov A.V., Puzyrev L.S., Mekhaev F.V. et al.* // *Russ. J. Appl. Chem.* -2014.-v.87.-N 4.-P.474-479.

8. *Kaplanek, R.* Perfluoroalkylated diblock-alkyl methacrylate monomers for biomedical applications. Wettability of their copolymers with HEMA and DEMA / R.Kaplanek, O.Paleta., J. Michalek, M. Pradny // *J. Fluorine Chem.* -2005.-V.126.-N 4.-P.593-598.

9. *Guyot, B., Ameduri B., Boutevin B.* Synthesis and polymerization of novel fluorinated morpholino acrylates and methacrylates // *J.Fluorine Chem.* 1995.V.74.N 2. P.233-240. DOI: 10.1016/0022-1139(95)03281-H

10. *Chapurkin, V. V.* Features crosslinking fluororubber GFR-32 under the influence of laser radiation / V.V. Chapurkin, S.E.Tesker, E.I.Tesker et al. // *Polymer Science. Series B.* 2003.V. 45. N 1-2. P.37-40.

11. Pat. 2161171 RF, A method for producing anti-friction Zjavl. 04.04.2000; opubl. 22.12.2000. Bjul. № 18. (in Russian).

12. Pat. 2232780 RF, A method for producing a fluororubber based coating. Zjavl. 09.07.2002; opubl. 20.07.2004. Bjul. № 28.(in Russian).

13. Pat. 2421442 RF. A method for producing fluorinated tetraketons. Zjavl. 17.02.2010; opubl. 29.06.2011. Bjul. № 8. (in Russian).

14. *Chapurkin V. V., Rakhimov A. I., Vaniev M. A., Chapurkin S. V., Borisov S. V.* Synthesis of Peroxides Based on Polyfluorinated Polycarbonyl Compounds // *Russ. J. Gen. Chem.* 2020. Vol. 90. N 7. P. 1188-1191. DOI: 10.1134/S1070363220070026

15. *Chapurkin V.V., Medvedev V.P., Chapurkin S.V.* Vulcanization of fluoroelastomers using fluorine peroxides // *Russ. J. Appl. Chem.* 2015. V.88. N 8. P. 1282-1287. DOI: 10.1134/S1070427215080091.

V. V. Chapurkin, S. V. Chapurkin

# APPLICATION OF FLUOROPEROXIDES BASED ON POLYFLUORINATED DI- AND TETRACARBONYL COMPOUNDS FOR VULCANIZATION OF FLUOROELASTOMERS

Volgograd State Technical University

**Abstract.** Fluoroperoxides based on polyfluorinated di- and tetracarbonyl compounds are effective vulcanizing agents of fluoroelastomers, which is expressed in improving the properties of vulcanizates: increasing physical and mechanical parameters, thermal, and chemical resistance.

**Keywords:** fluoroperoxides, polyfluorinated di-tetracarbonyl compounds, fluoroelastomers, vulcanizates.