

ПРИМЕНЕНИЕ ФТОРПЕРОКСИДОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИФТОРИРОВАННЫХ ДИ- И ТЕТРАКАРБОНИЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ДЛЯ ВУЛКАНИЗАЦИИ ФТОРЭЛАСТОМЕРОВ

© В. В. Чапуркин, М. А. Ваниев, С. В. Чапуркин, С. В. Борисов

Волгоградский государственный технический университет,
400005, г. Волгоград, пр. им. Ленина, д. 28
E-mail: chapurkin@vstu.ru

Поступила в Редакцию 10 ноября 2022 г.
После доработки 12 января 2023 г.
Принята к публикации 7 февраля 2023 г.

Исследована возможность применения фторпероксидов на основе полифторированных ди- и тетракарбонильных соединений в качестве вулканизирующих агентов фторкаучуков СКФ-32 и СКФ-260. Установлено, что получаемые вулканизаты характеризуются условной прочностью при разрыве до 5.1 МПа и относительным удлинением при растяжении до 130%. При этом стойкость к действию H_2SO_4 и смеси H_2SO_4 и HNO_3 повышается примерно в 1.5–2 раза, а к толуолу и уксусной кислоте — на 20–30% по сравнению с вулканизатами, полученными при использовании тех же каучуков и пероксида бензоила или пероксимона F40 в качестве вулканизирующих агентов.

Ключевые слова: фторпероксиды; полифторкарбонильные соединения; фторэластомеры; вулканизаты

DOI: 10.31857/S0044461822100024; EDN: ABNAIC

Фторсодержащие полимеры отличаются повышенной теплостойкостью, стойкостью к воздействию топлив, масел, смазок, гидрожидкостей и др. [1, 2], что предопределяет возможность их использования в экстремальных условиях. Вместе с тем данное обстоятельство предопределяет актуальность исследований, направленных на создание новых фторсодержащих полимеров, в особенности для использования их в качестве защитных покрытий конструкций и их элементов.

В настоящее время в литературе достаточно широко описаны различные способы создания фторполимерных пленок. В частности, авторы [3] используют для этого метод химического осаждения из паровой фазы в процессе синтеза политетрафторэтилена, поливинилиденфторида или поли(1Н,1Н,2Н,2Н)-пер-

фтордецилакрилата и его сополимеров. В обзоре [4] рассмотрен способ формирования тонких пленок из растворов за счет сольвофобного взаимодействия фторированных фрагментов, а в [5] — путем адсорбции частично фторированных амфифилов на поверхностях разделов фаз между металлом и оксидом металла. Вместе с тем большинство описанных способов нанесения тонких защитных пленок применимы только для случаев формирования жестких покрытий на твердой подложке. Работ, в которых изложены данные, касающиеся создания эластичных покрытий на основе фторкаучуков, не так много [6].

Для повышения эффективности фторполимерных покрытий чрезвычайно важным является обоснованный подбор агентов вулканизации. Все большее применение для этого находят пероксидные инициаторы

[7]. При эксплуатации фторэластомеров в агрессивных средах преимущество пероксидной вулканизации неоспоримо, так как бисфенольные системы можно использовать только в присутствии гидроксида кальция, а взаимодействие последнего с кислотами вызывает набухание в них резин. Широко используемым вулканизирующим агентом в процессе получения резин на основе фторкаучуков является смесь изомеров 1,4- и 1,3-ди(*трет*-бутилпероксиизопропил)-бензола, в частности выпускаемая под маркой Пероксимон F40 [8], кроме того, нередко используются соединения, содержащие *трет*-бутилпероксидную или кумилпероксидную группы [9]. Применение в качестве инициатора дикумилпероксида или его производных имеет ограничения по токсичности, так как при распаде образуется ацетофенон [10]. Ди-*трет*-бутилпероксид не имеет этого недостатка, однако ввиду высокой летучести в промышленности не используется. В литературе описано также применение фторзамещенных производных бензоилпероксида [11] и других диацильных пероксидов [12]. Вместе с тем при распаде диацильных пероксидов в процессе вулканизации образуются кислоты, ускоряющие старение композиций.

Ранее нами была показана эффективность применения фторсодержащих пероксидных инициаторов при шивке фторкаучука СКФ-32 под воздействием лазерного излучения [13].

Для создания пленочных защитных покрытий на основе фторкаучуков с необходимым комплексом свойств потребовались фторпероксидные инициаторы, не образующие в процессе распада кислот и являющихся эффективными вулканизирующими агентами фторкаучуков.

Цель работы — изучение вулканизирующей эффективности фторсодержащих пероксидов, синтезированных на основе полифторированных ди- и тетракарбонильных соединений.

Экспериментальная часть

ИК-спектры регистрировали на спектрофотометре Specord IR-75 (Analytik Jena) в тонкой пленке для чистых маслообразных веществ, в вазелиновом масле — для кристаллических, спектры ЯМР ^1H — на спектрометрах Varian Mercury-300 ВВ (300.73 МГц) и Bruker DRX-500 (500.13 МГц), внутренний стандарт — Me_4Si .

Для исследований применяли фторкаучуки СКФ-32 и СКФ-260 (ООО «Завод полимеров ОАО «Кирово-Чепецкий химический комбинат»). В качестве вулканизирующих агентов фторкаучуков при

получении защитных пленочных покрытий были использованы фторпероксиды, полученные авторами по методике [13].

8-Гидрокси-6,6,8-три-трет-бутилперокси-8-фенил-2,2,3,3,4,4,5,5-октафторметилоктаноат (I) $\text{Ph}-\text{C}[\text{OOC}(\text{CH}_3)_3]_2-\text{CH}_2-\text{C}(\text{OH})[\text{OOC}(\text{CH}_3)_3]-\text{(CF}_2)_4-\text{COOCH}_3$ синтезировали из метил-6,8-диоксо-8-фенил-2,2,3,3,4,4,5,5-октафтороктаноата {получен из диметилового эфира перфторадипиновой кислоты [х.ч., Пермский филиал АО «РНЦ «Прикладная химия (ГИПХ)»] и ацетофенона (х.ч., ООО «Русхим») по методике [6]} и гидропероксида *трет*-бутила (х.ч., ООО «Русхим»). Выход 94%, n_D^{20} 1.4494, d_4^{20} 1.2242. ИК-спектр, ν , cm^{-1} : 840 (O—O), 1144 (COO), 1784 (C=O), 3322 (OH). Спектр ЯМР ^1H (ДМСО- d_6), δ , м. д.: 1.20 с [27H, $(\text{CH}_3)_3\text{C}$], 2.74 к (2H, CH_2 , $J = 28$ Гц), 3.92 с (3H, OCH₃), 4.62 с (1H, OH), 7.15–8.05 м (5H, Ph).

8-Гидрокси-6,6,8-три-трет-бутилперокси-2,2,3,3,4,4,5,5-октафторметилдеканоат (II) $\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{C}[\text{OOC}(\text{CH}_3)_3]_2-\text{CH}_2-\text{C}(\text{OH})[\text{OOC}(\text{CH}_3)_3]-\text{(CF}_2)_4-\text{COOCH}_3$ синтезировали из метил-6,8-диоксо-2,2,3,3,4,4,5,5-октафтордеканоата {получен из диметилового эфира перфторадипиновой кислоты [х.ч., Пермский филиал АО «РНЦ «Прикладная химия (ГИПХ)»] и метилэтилкетона (х.ч., ООО «Русхим») по методике [14]} и гидропероксида *трет*-бутила. Выход 75%, n_D^{20} 1.3926, d_4^{20} 1.3099. ИК-спектр, ν , cm^{-1} : 864 (O—O), 944 (COO), 1796 (C=O), 3408–3444 (OH). Спектр ЯМР ^1H (ДМСО- d_6), δ , м. д.: 1.15 т (3H, CH_3 , CH_2 , $J = 7$ Гц), 1.18 с [27H, $(\text{CH}_3)_3\text{C}$], 2.33 м (2H, CH_2CH_3), 2.52 м (2H, CH_2), 3.88 с (3H, OCH₃), 5.16 с (1H, OH), 7.46–8.05 м (5H, Ph).

3,14-Дигидрокси-3,14-ди-трет-бутилперокси-1,16-дифенил-2,2,15,15-тетрагидроперфторгексадекан-1,16-дион (III) $\text{Ph}-\text{C}(\text{O})-\text{CH}_2-\text{C}(\text{OH})[\text{OOC}(\text{CH}_3)_3]-\text{(CF}_2)_{10}-\text{C}(\text{OH})[\text{OOC}(\text{CH}_3)_3]-\text{CH}_2-\text{C}(\text{O})-\text{Ph}$ синтезировали из 1,16-дифенил-2,2,15,15-тетрагидроперфторгексадекан-1,3,11,16-тетраона {получен из диметилового эфира перфтордодекандикарбоновой кислоты [х.ч., Пермский филиал АО «РНЦ «Прикладная химия (ГИПХ)»] и ацетофенона (х.ч., ООО «Русхим») по методике [15]} и гидропероксида *трет*-бутила. Выход 63%. $T_{\text{пл}}$ 64–65°C (разл.). ИК-спектр, ν , cm^{-1} : 850 (O—O), 1030 (COO), 1806 (C=O), 3402–3445 (OH). Спектр ЯМР ^1H (ДМСО- d_6), δ , м. д.: 1.21 с [18H, $(\text{CH}_3)_3\text{C}$], 3.81 к (4H, CH_2 , $J = 28$ Гц), 9.11 с (2H, OH), 7.49–7.93 м (10H, Ph).

Помимо указанных выше фторпероксидов для исследований применяли пероксид бензоила (техн.,

ООО «Русхим»), который очищали путем растворения в изопропиловом спирте (х.ч., АО «Экос-1») и отфильтровывания примесей наполнителя. Растворитель удаляли перегонкой при пониженном давлении. Содержание основного вещества 96.8%.

Пероксимон F40 (техн., ЗАО «Русхимсеть»), представляющий собой смесь изомеров 1,4- и 1,3-ди(*трет*-бутилпероксиизопропил)-бензола 40 мас%, очищали аналогично пероксиду бензоила. Содержание основного вещества (смеси изомеров) 97.6%.

Ди(*трет*-бутилперокси)фенилметан (содержание основного вещества 98.7%) получен по методике [16] из бензальдегида (х.ч., АО «Экос-1») и гидропероксида ди-*трет*-бутила (х.ч., АО «Экос-1»).

Перфторэнантоилпероксид (содержание основного вещества 97.9%) получен по методике [16] из хлорангидрида перфторэнантовой кислоты [х.ч., Пермский филиал АО «РНЦ «Прикладная химия (ГИПХ)»] и пероксида натрия (техн., ЗАО «Русхимсеть»).

Пленки из растворов фторэластомеров СКФ-32 и СКФ-260 готовили и вулканизовали при использо-

вании фторпероксидов (I)–(III) по методикам [13] с термостатированием образцов при 120°C в течение 30 мин.

Испытания на стойкость к химическим средам проводились в соответствии с ГОСТ 12020–72 «Пластмассы. Методы определения стойкости к действию химических сред» в течение 3 сут при температуре 30°C. В качестве сред были выбраны: толуол (х.ч., АО «Экос-1»), H₂SO₄ (98 мас%, х.ч., ООО «Русхим»), смесь H₂SO₄ (98 мас%, х.ч., ООО «Русхим») и HNO₃ (60 мас%, х.ч., ООО «Русхим») в соотношении 1:1, а также уксусная кислота (98 мас%, х.ч., ООО «Русхим»).

Обсуждение результатов

Нами были оценены физико-механические характеристики и проведены испытания на химическую стойкость эластомерных композиций на основе фторкаучука СКФ-32, вулканизованных при использовании новых фторпероксидных соединений. Применение

Таблица 1
Физико-механические свойства пленок СКФ-32, вулканизованных фторпероксидами

Пероксид, используемый для вулканизации	Содержание пероксида, мас. ч.	Режим вулканизации		Условная прочность при разрыве, МПа	Относительное удлинение при разрыве, %	Остаточное удлинение, %	Прозрачность (визуально)
		T, °C	время, мин				
8-Гидрокси-6,6,8-три- <i>трет</i> -бутилперокси-8-фенил-2,2,3,3,4,4,5,5-октафторметилоктаноат	2	120	30	3.5	130	4	Прозрачная
	4			3.8	125	3	
	6			4.1	115	3	
8-Гидрокси-6,6,8-три- <i>трет</i> -бутилперокси-2,2,3,3,4,4,5,5-октафторметилдеканат	2	130	30	4.2	120	3	Прозрачная
	4			4.5	115	3	
	6			4.7	110	2	
3,14-Дигидрокси-3,14-ди- <i>трет</i> -бутилперокси-1,16-дифенил-2,2,15,15-тетрагидроперфторгексадекан-1,16-дион	2	160	30	4.5	130	3	Прозрачная
	4			4.7	125	3	
	6			5.1	100	2	
Перфторэнантоилпероксид	2	60	30	3.2	80	4	Прозрачная
	4			3.6	75	4	
	6			3.5	65	3	
Пероксид бензоила	2	160	30	1.6	30	5	Непрозрачная
	4			2.4	28	4	
	6			2.3	26	4	
Пероксимон F40	2	160	30	3.1	70	4	Непрозрачная
	4			3.9	67	4	
	6			3.7	60	3	

фторпероксидов (I)–(III) в качестве вулканизирующих агентов приводит к созданию вулканизатов с улучшенными физико-механическими характеристиками (табл. 1). При сравнении с физико-механическими характеристиками пленок, вулканизованных пероксидом бензоила, можно видеть, что условная прочность увеличивается в 2 раза, а относительное удлинение — более чем в 4, при этом остаточное удлинение остается низким. Сопоставление показателей пленок, полученных с использованием фторированных пероксидов (I)–(III) и перфторацильного (перфторэнантоилпероксида), позволяет сделать вывод о том, что в случае применения (I)–(III) прочностные свойства в 1.5 раза выше, чем для перфторэнантоилпероксида, в присутствии которого оптимальной температурой вулканизации является 60°C.

В раствор фторэластомеров вводили фторпероксиды (I)–(III) в количестве 2–6 мас. ч. на 100 мас. ч. фторкаучука, предпочтительно 4 мас. ч. При сниже-

нии содержания пероксида менее 4 мас. ч. формируется пленка с меньшей степенью сшивки, о чем свидетельствует повышенное значение относительного и остаточного удлинения, а также уменьшение прочности пленки.

В связи с тем, что полифторсодержащие пероксидные соединения проявили себя как эффективные вулканизирующие агенты фторкаучуков, представляло интерес изучение влияния структуры различных фторированных групп на химическую стойкость и прочностные свойства пленок на основе фторкаучуков. При получении фторированных пленок не используются полифункциональные ингредиенты, что позволяет оценить иницилирующее действие непосредственно фторпероксидного инициатора на свойства пленок. С этой целью были получены пленки на основе фторкаучука СКФ-260. Данные по испытанию вулканизованного фторпероксидами каучука СКФ-260 представлены в табл. 2.

Таблица 2

Физико-химические и механические свойства пленок на основе СКФ-260, вулканизованных фторпероксидами

Пероксид, используемый для вулканизации	Условная прочность при разрыве, МПа		Относительное удлинение при разрыве, %		Остаточное удлинение, %		Степень набухания в толуоле (8 сут), %	Цвет и прозрачность пленок
	до старения	после выдержки 72 ч, 30°C в смеси H ₂ SO ₄ :HNO ₃ (1:1)	до старения	после выдержки 72 ч, 30°C в смеси H ₂ SO ₄ :HNO ₃ (1:1)	до старения	после выдержки 72 ч, 30°C в смеси H ₂ SO ₄ :HNO ₃ (1:1)		
—	0.7	—	720	—	100	—	—	Прозрачная, бесцветная
Пероксид бензоила	0.8	0.2	760	640	80	160	16.0	Желтая, непрозрачная
8-Гидрокси-6,6,8-три- <i>трет</i> -бутилперокси-8-фенил-2,2,3,3,4,4,5,5-октафторметилоктаноат	3.6	2.8	1120	940	24	110	9.1	Прозрачная, бесцветная
8-Гидрокси-6,6,8-три- <i>трет</i> -бутилперокси-2,2,3,3,4,4,5,5-октафторметилдеканоат	3.8	2.9	1100	900	23	100	9.0	Прозрачная, бесцветная
3,14-Дигидрокси-3,14-ди- <i>трет</i> -бутилперокси-1,16-дифенил-2,2,15,15-тетрагидроперфторгексадекан-1,16-дион	4.5	2.1	1080	900	22	90	8.8	Прозрачная, бесцветная

Таблица 3
Результаты испытаний пленки на основе СКФ-32, вулканизированной фторпероксидами, на стойкость к действию химических сред

Среда	Время выдержки, сут	Изменение объема, %				
		пероксид бензоила	ди(<i>трет</i> -бутилперокси)-фенилметан	8-гидрокси-6,6,8-три- <i>трет</i> -бутилперокси-8-фенил-2,2,3,3,4,4,5,5-октафторметилоктаноат	8-гидрокси-6,6,8-три- <i>трет</i> -бутилперокси-2,2,3,3,4,4,5,5-октафторметилдеcanoат	3,14-дигидрокси-3,14-ди- <i>трет</i> -бутилперокси-1,16-дифенил-2,2,15,15-тетрагидроперфторгексадекан-1,16-дион
Толуол (х.ч.)	3	23	21	15	17	15
	7	26	23	19	20	18
H ₂ SO ₄ (98 мас%)	3	1.8	1.7	1.3	1.4	1.1
	7	2.5	2.2	1.5	1.6	1.3
Смесь H ₂ SO ₄ (98 мас%) и HNO ₃ (60 мас%)	3	2.5	2.4	2.1	2.0	1.7
	7	3.8	3.5	3.0	3.1	2.8
Уксусная кислота (98 мас%)	3	57	54	47	48	44
	7	125	119	102	104	98

Использование фторпероксидов (I)–(III) для вулканизации каучука на основе СКФ-260 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 одинаковую прочность при разрыве и относительное удлинение пленок без вулканизирующего агента и пероксида бензоила при значительной величине остаточного удлинения, что свидетельствует о слабой вулканизирующей активности пероксида бензоила. 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.

Пленки, полученные с использованием фторпероксидов (I)–(III), значительно меньше подвергаются химическому старению, чем вулканизированные нефторированным пероксидом бензоила. Физико-механические показатели вулканизатов, полученных с помощью фторпероксидов, после выдержки в смеси кислот в 8 раз выше, чем вулканизатов, полученных с использованием пероксида бензоила.

Результаты испытаний на химическую стойкость (табл. 3) показывают увеличение данного показателя вулканизатов, полученных при использовании фторпероксидов (I)–(III), по сравнению с вулканизатами,

содержащими пероксид бензоила, и ди-*трет*-бутилпероксифенилметаном. Использование для вулканизации фторэластомеров фторпероксидов (I)–(III) позволяет значительно повысить химическую стойкость пленок по сравнению с аналогичными, полученными с применением пероксида бензоила. Так, примерно в 1.5–2 раза повышается стойкость к H₂SO₄ и смеси H₂SO₄ и HNO₃, а также на 20–30% возрастает стойкость к толуолу и уксусной кислоте.

Полученные результаты, вероятно, обусловлены тем, что поли- и перфторированные радикалы, образующиеся при распаде фторпероксидов в процессе вулканизации и участвующие в сшивке макромолекул фторкаучука, позволяют получать вулканизаты с улучшенными свойствами благодаря введению фторированных групп.

Выводы

В результате проведенных исследований установлено, что фторпероксидные производные поликарбонильных соединений являются эффективными вулканизирующими агентами фторкаучуков. Пленки, полученные на основе фторкаучуков СКФ-32, СКФ-260 и исследованных фторпероксидных соединений, характеризуются высокими физико-механическими показателями (условная прочность при разрыве до 4.5 МПа) и стойкостью к действию толуола, уксусной кислоты, H₂SO₄ и смеси H₂SO₄ и HNO₃.

Благодарности

При выполнении работы использовано оборудование ЦКП «Физико-химические методы исследования» Волгоградского государственного технического университета.

Финансирование работы

Работа выполнена в рамках государственного задания на выполнение научных исследований межрегионального научно-образовательного центра Юга России при финансовой поддержке Минобрнауки РФ (соглашение № FSUS-2021-0013).

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующих раскрытия в данной статье.

Информация об авторах

Чапуркин Виктор Васильевич, д.х.н., проф.
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5012-3928>
Ваниев Марат Абдурахманович, д.т.н., доцент
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6511-5835>
Чапуркин Сергей Викторович, к.х.н.
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8910-2510>
Борисов Сергей Владимирович
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4400-0822>

Список литературы

- [1] *Ebnesajjad S.* Introduction to Fluoropolymers: Materials, Technology, and Applications: A volume in Plastics Design Library. Norwich, New York: William Andrew Publ., 2020. P. 2–32. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819123-1.00022-7>
- [2] *Нудельман З. Н.* Фторкаучуки: основы, переработка, применение. М.: ООО «ПИФ РИАС», 2007. С. 339.
- [3] *Dennis W. Smith Jr., Scott T. Iacono, Suresh S. Iyer.* Handbook of Fluoropolymer Science and Technology. New York: John Wiley & Sons, Inc., 2014. P. 131–148. <https://doi.org/10.1002/9781118850220>
- [4] *Imae T.* Fluorinated polymers // *Curr. Opin. Colloid Interface Sci.* 2003 V. 8. N 3. P. 307–314. [https://doi.org/10.1016/S1359-0294\(03\)00050-5](https://doi.org/10.1016/S1359-0294(03)00050-5)
- [5] *Zenasni O., Jamison Andrew C., Lee T. Randall.* The Impact of fluorination on the structure and properties of self-assembled monolayer films // *Soft Matter.* 2013. V. 9. N 28. P. 6356–6370. <https://doi.org/10.1039/c3sm00054k>
- [6] *Чапуркин В. В., Рахимов А. И., Ваниев М. А., Чапуркин С. В., Борисов С. В.* Синтез пероксидов на основе полифторсодержащих поликарбонильных соединений // *ЖОХ.* 2020. Т. 90. Вып. 7. С. 994–998. <https://doi.org/10.31857/S0044460X20070021> [*Chapurkin V. V., Rachimov A. I., Vaniev M. A., Chapurkin S. V., Borisov S. V.* Synthesis of peroxides based on polyfluorated polycarbonyl compounds // *Russ. J. Gen. Chem.* 2020. V. 90. N 7. P. 1188–1191. <https://doi.org/10.1134/S1070363209020121>].
- [7] *Нудельман З. Н.* Наполнители для фторэластомеров // *Каучук и резина.* 2005. № 3. P. 33–38. <https://doi.org/10.1177/0307174X0603300215>
- [8] *Чайкун А. М., Юмашев О. Б.* Резины на основе кислородсодержащих фторкаучуков // *Каучук и резина.* 2021. № 4. С. 192–198. <https://doi.org/10.47664/0022-9466-2021-80-4-192-198>
- [9] Пат. РФ 2232780 (опубл. 2004). Способ получения покрытий на основе фторкаучука.
- [10] *Антоновский В. Л.* Органические перекисные инициаторы. М.: Химия, 1972. С. 428.
- [11] *Améduri B.* The Promising future of fluoropolymers // *Macromol. Chem. Phys.* 2020. V. 221. N 8. ID 1900573. <https://doi.org/10.1002/macp.201900573>
- [12] *Kaplanek R., Paleta O., Michalek J., Pradny M.* Perfluoroalkylated diblock-alkyl methacrylate monomers for biomedical applications: Wettability of their copolymers with HEMA and DEGMA // *J. Fluorine Chem.* 2005. V. 126. N 4. P. 593–598. <https://doi.org/10.1016/j.jfluchem.2005.01.004>
- [13] *Чапуркин В. В., Тескер С. Е., Тескер Е. И., Кокорина С. В.* Особенности сшивки фторкаучука СКФ-32 под воздействием излучения лазера // *Высокомолекуляр. соединения. Сер. А, Б.* 2003. Т. 45. № 2. С. 353–357 [*Chapurkin V. V., Tesker S. E., Tesker E. I., Kokorina S. V.* // The specific features of laser-induced crosslinking of fluorinated rubber SKF-32 // *Polym. Sci. Ser. B.* 2003. V. 45. N 1–2. P. 37–40].
- [14] *Чапуркин В. В., Литинский А. О., Бакланов А. В., Леонтьева О. С.* Особенности взаимодействия диалкиловых эфиров перфторадипиновой и перфторпимелиновой кислот с метилалкил(арил)кетонами // *ЖОХ.* 2005. Т. 75. Вып. 2. С. 318–321 [*Chapurkin V. V., Litinskii A. O., Baklanov A. V., Leont'eva O. S.* Features of reaction of dialkyl perfluoro adipic and perfluoropimelic acids with alkyl(aryl) methyl ketones // *Russ. J. Gen. Chem.* 2005. V. 75. N 2. P. 290–293. <https://doi.org/10.1007/s11176-005-0215-0>].
- [15] Пат. РФ 2421442 (опубл. 2011). Способ получения фторсодержащих тетракетонов.
- [16] *Рахимов А. И.* Химия и технология органических перекисных соединений. М.: Химия, 1979. С. 131–296.