



Нестандартные материалы для создания оптических систем

М. В. Агринский¹, В. М. Волюнкин², Д. Г. Откупман³

¹ «Оптико-механическое конструкторское бюро «АСТРОН», Московская область, г. Лыткарино

² «НПО Государственный оптический институт им. С. И. Вавилова», г. Санкт-Петербург

³ «Московский государственный университет геодезии и картографии» (МИИГАиК), г. Москва

С развитием оптических технологий повышаются требования к качеству оптотехнической продукции и возникает потребность в создании новых оптических материалов, способных улучшить параметры и характеристики оптических систем, такие как прозрачность, легкость, прочность, устойчивость к внешним воздействиям и экономическая эффективность. В работе рассмотрены некоторые нетрадиционные оптические материалы и их практическое применение.

Ключевые слова: полимеры, терморезакты, термопласты, гели, радиационно-стойкие материалы, жидкости, клеи для оптических деталей, кристаллы

Статья получена: 27.12.2024

Статья принята: 31.01.2025

ВВЕДЕНИЕ

Оптические материалы имеют важное значение в разработке современных оптических систем. В основном, для преломляющих сред, используются стекло и кристаллы, но с развитием науки и технологий возникает необходимость в создании новых, нетрадиционных оптических материалов. Значение разработки и применения таких материалов для оптических систем трудно переоценить. В условиях стремительного технологического прогресса и возрастающих требований к производительности оптических систем новые материалы становятся ключевым фактором, способствующим развитию. Материалы, обладающие выгодными свойствами, не только повышают качество суще-

Non-standard Materials for Optical System Development

M. V. Agrinsky¹, V. M. Volynkin², D. G. Otkupman³

¹ ASTRON Optical and Mechanical Design Bureau, Moscow region, Lytkarino

² Research and Production Association "Vavilov State Optical Institute", Saint-Petersburg

³ Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow

With the advances in optical technologies, the quality requirements for the optical and technical products are increasing. Therefore, there is a need to develop new optical materials that can improve the parameters and specifications of optical systems, such as transparency, lightness, strength, environmental resistance and cost efficiency. The paper considers some non-conventional optical materials and their practical application.

Key words: polymers, thermosets, thermoplastics, gels, radiation-resistant materials, liquids, adhesives for optical components, crystals

Article received: 27.12.2024

Article accepted: 31.01.2025

INTRODUCTION

The optical materials are of great importance in the development of state-of-the-art optical systems. Glass and crystals are mainly used for the refractive media. However, with the advances in science and technology, there is a need to develop new, non-conventional optical materials. The importance of developing and using such materials for the optical systems can hardly be overestimated. In the context of vigorous technological progress and increasing performance requirements to the optical systems, new materials are becoming a key factor contributing to the process of development. The materials with favorable properties not only improve the quality of available solutions, but also open up new opportunities for innovation and scientific research.

ствующих решений, но и открывают новые возможности для инноваций и научных исследований.

ТЕРМОРЕАКТИВНЫЕ ОПТИЧЕСКИЕ ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИТЫ (ТЕРМОРЕАКТЫ)

В отличие от оптических стекол и кристаллов полимерные материалы обладают более низкой стоимостью, меньшей плотностью и высокой ударопрочностью. Производство деталей из органического стекла осуществляется с использованием высокоэффективных и экономичных технологий.

В целях расширения каталога полимерных оптических материалов для проектирования ахроматических объективов был создан полимер оптический эпоксидный (ПОЭ) [1]. Материал состоит из эпоксидной смолы, декалита 6, дибутилового эфира себаценовой кислоты, оксибензофенона, низкомолекулярного полиамида, 1-йоднафталина 10. Измеренные показатели преломления: $n_F=1,56662$; $n_e=1,55852$; $n_D=1,55491$; $n_C=1,55148$. Область прозрачности разработанного материала и его внешний вид показаны на рис. 1. На основе ПОЭ рассчитан объектив-ахромат [2].

ТЕРМОПЛАСТИЧНЫЕ ОПТИЧЕСКИЕ ПОЛИМЕРЫ (ТЕРМОПЛАСТЫ)

Синтезирован ряд термопластичных (термопластных) оптических материалов (ТОМ) с заданным ходом дисперсионной кривой, характеристики

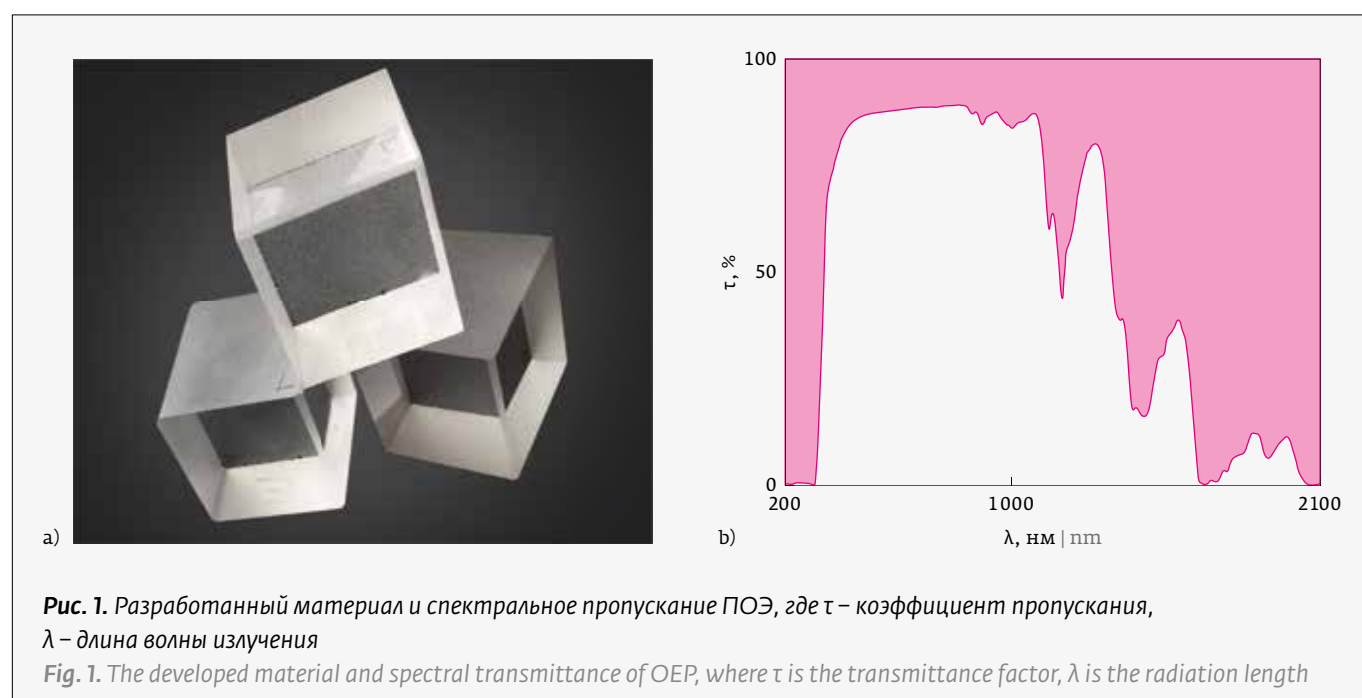
ТHERMOSETTING OPTICAL POLYMER COMPOSITES (THERMOSETS)

In contrast to the optical glass and crystals, the polymeric materials have reduced cost, lower density and high impact resistance. The organic glass parts are produced using the highly efficient and cost-effective technologies.

In order to expand the range of polymer optical materials for the design of achromatic lenses, the optical epoxy polymer (OEP) has been developed [1]. The material consists of epoxy resin, decalite 6, sebacic acid dibutylester, hydroxybenzophenone, low molecular polyamide, 1-iodonaphthalene 10. The measured refractive indices are as follows: $n_F=1.56662$; $n_e=1.55852$; $n_D=1.55491$; $n_C=1.55148$. The transparent region of the developed material and its appearance are shown in Fig. 1. An achromatic lens has been designed based on the OEP [2].

ТHERMOPLASTIC OPTICAL POLYMERS (THERMOPLASTICS)

A number of thermoplastic optical materials (TOM) with a given run of dispersion curve have been synthesized which specifications are given in Table 1. For the obtained TOMs, the reflectivity of the refractive surface is no more than 0.06 (6%); its homogeneity is no lower than 3; its attenuation is no lower than 2; its unstriae is no lower than 3B; its bubble class is no lower than 3B; its integral optical transmission coefficient in a 2 mm thick layer is no less than 0.85.



которых представлены в табл. 1. Для полученных ТОМ – коэффициент отражения преломляющей поверхности не более 0,06 (6%); однородность не ниже 3; ослабление не ниже 2; бесшвильность не ниже 3Б; пузырность не ниже 3В; интегральный коэффициент светопропускания в слое толщиной 2 мм не менее 0,85.

ТОМ с наименьшим показателем преломления из представленных – это продукт конденсации эпоксидно-диановой смолы ЭД-22 с диглицидоловым эфиром 1,4 бутандиола и дибутилового эфира себаценовой кислоты при температуре 60 °С в течение 8 часов. В качестве отвердителя использовались полиоксипропиленамины.

ТОМ с наибольшим показателем преломления из представленных – это продукт конденсации эпихлоргидрина с тетрабромдифенилолпропаном при температуре 90 °С в течение 20 часов. В качестве отвердителя использовались продукты взаимодействия полимеризованных жирных кислот, растительных масел и полиэтиленполиаминов.

На основе некоторых полученных материалов рассчитан объектив-апохромат [3].

ГЕЛЕОБРАЗНЫЕ ОПТИЧЕСКИЕ СРЕДЫ (ГЕЛИ)

Синтезирован ряд гелеобразных оптических сред (ГОС) с заданным ходом дисперсионной кривой, характеристики которых представлены в табл. 2. Для полученных ГОС – коэффициент отражения преломляющей поверхности не более 0,05 (5%); однородность не ниже 4; ослабление не ниже 3; бесшвильность не ниже 3Б; пузырность не ниже 3В; интегральный коэффициент светопропускания в слое толщиной 2 мм не менее 0,85.

ГОС с наименьшим показателем преломления из представленных – это перфторгексилловый спирт после фильтрации через бумажный фильтр «синяя лента», в котором растворен поливинилпирролидон до образования геля.

ГОС с наибольшим показателем преломления из представленных – это раствор поливинилбутираля в циклогексаноне при температуре 60 °С в течение

The TOM with the lowest refractive index of those provided is a condensation product of epoxy-diane resin ED-22 with 1,4-butanediol diglycidyl ether and sebacic acid dibutylester at a temperature of 60 °C for 8 hours. The polyoxypropyleneamines have been used as a hardener.

The TOM with the highest refractive index of those provided is a condensation product of epichlorohydrin with tetrabromodiphenylolpropane at a temperature of 90 °C for 20 hours. The hardener used has been the reaction products of polymerized fatty acids, vegetable oils and polyethylenepolyamines.

Based on some of the materials obtained, an apochromatic lens has been designed [3].

GEL-LIKE OPTICAL MEDIA (GELS)

A number of gel-like optical media (GOM) with a given run of dispersion curve have been synthesized which specifications are given in Table 2. For the obtained GOMs, the reflectivity of the refractive surface is no more than 0.05 (5%); its homogeneity is no lower

Таблица 1. Технические характеристики ТОМ

Table 1. Technical specifications of thermoplastic optical materials (TOM)

ТОМ №	Показатели преломления Refractive indices			Плотность, г/см ³ Density, g/cm ³	Поверхностное натяжение, дин/см Surface tension, dyne/cm	Область прозрачности, мкм Transparent region, μm
	n_F	n_d	n_C			
1	1,6501	1,6385	1,6236	1,34	43	0,35÷2,0
2	1,6310	1,6203	1,6074	1,17	36	0,33÷1,8
3	1,5766	1,5621	1,5540	1,20	39	0,31÷1,5
4	1,4818	1,4783	1,4730	1,08	34	0,3÷2,5

Таблица 2. Технические характеристики ГОС

Table 2. Technical specifications of gel-like optical media (GOM)

ГОС №	Показатели преломления Refractive indices			Плотность, г/см ³ Density, g/cm ³	Поверхностное натяжение, дин/см Surface tension, dyne/cm	Область прозрачности, мкм Transparent region, μm
	n_F	n_d	n_C			
1	1,4515	1,4497	1,4440	1,05	33	0,32÷2,0
2	1,3390	1,3376	1,3347	1,02	67	0,28÷1,0
3	1,3389	1,3374	1,3347	1,31	19	0,25÷2,0
4	1,3369	1,3370	1,3336	1,01	33	0,35÷1,5
5	1,3243	1,3234	1,3204	1,39	17	0,25÷3,0

4 часов. Далее фильтрация через бумажный фильтр «белая лента» и введение поливинилпирролидона до образования геля. На рис. 2 показана диаграмма Аббе $n_d(v_d)$ представленных в табл. 1-2 материалов.

ОПТИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ С ПОВЫШЕННОЙ РАДИАЦИОННОЙ УСТОЙЧИВОСТЬЮ

Для проектирования объективов-апохроматов с повышенными требованиями к радиационной нагрузке (радиационно-оптической устойчивостью к γ -излучению дозами 10^6 Р) была создана пара материалов: 1) ГОС на основе органосилоксанов, которая получается при гидролизной поликонденсации дихлорполиорганосилоксанов; 2) ТОМ, полученный путем очистки эпоксидной смолы от соли, образующейся при синтезе. Температурный коэффициент показателя преломления спектральной линии D $dn/dt = 3 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$. Технические характеристики материалов представлены в табл. 3.

На основе разработанных материалов выполнены расчеты оптических схем объективов [4, 5]. В оптических системах, где применяются гели и термопласты, важной конструктивной особенностью для надежного удержания формы элементов является необходимость их размещения внутри как минимум трехлинзовой склейки из твердых материалов по бокам. Пример такой компоновки в радиационно стойком объективе изображен на рис. 3, где ГОС-Р и ТОМ-Р располагаются между линзами из стекла ТК216.

ОПТИЧЕСКИЕ ЖИДКОСТИ

Синтезированы жидкие оптические среды (ЖОС) с «особым» ходом дисперсии (осободисперсионные) [6] для эффективной коррекции хроматических аберраций, т.к. применение ЖОС в объективах позволяет получить апохроматическую аберрационную коррекцию в 1,5-2 раза большем спектральном диапазоне по сравнению со стеклянными аналогами. Кроме того, в ЖОС не наблюдается двойное лучепреломление, отсутствуют свили и мелкозернистые неоднородности. Область прозрачности ЖОС – $\Delta\lambda \approx 0,4 \pm 1$ мкм. Конструктивно ЖОС полностью заполняют герметически замкнутый объем между оптическими элементами в твердом фазовом состоянии.

Таблица 3. Технические характеристики радиационно-устойчивых оптических сред

Table 3. Technical specifications of radiation-resistant optical media

Характеристика	ГОС-Р	ТОМ-Р	
Показатели преломления: Refractive indices:	n_F	1,416	1,598
	n_D	1,410	1,586
	n_C	1,407	1,581
Относительная частная дисперсия p_{FD} Relative partial dispersion p_{FD}	0,667	0,706	
Коэффициент дисперсии v_D Dispersion factor v_D	45	34	
Рабочий интервал температур, °C Range of operating temperatures, °C	-50...+150	-60...+80	
Область прозрачности, мкм Transparent region, μm	0,29–2,5	0,39–2,0	

than 4; its attenuation is no lower than 3; its unstriae is no lower than 3B; its bubble class is no lower than 3B; its integral optical transmission coefficient in a 2 mm thick layer is no less than 0.85.

The GOS with the lowest refractive index of those provided is perfluorohexyl alcohol after filtration through a blue-ribbon paper filter where polyvinylpyrrolidone is dissolved for gel formation.

The GOS with the highest refractive index of those provided is a solution of polyvinyl butyral in cyclohexanone at a temperature of 60 °C for 4 hours. Then it is filtered through a white-ribbon paper filter with an introduction of polyvinylpyrrolidone for gel formation. Fig. 2 shows the Abbe diagram $n_d(v_d)$ of the materials presented in Tables 1-2.

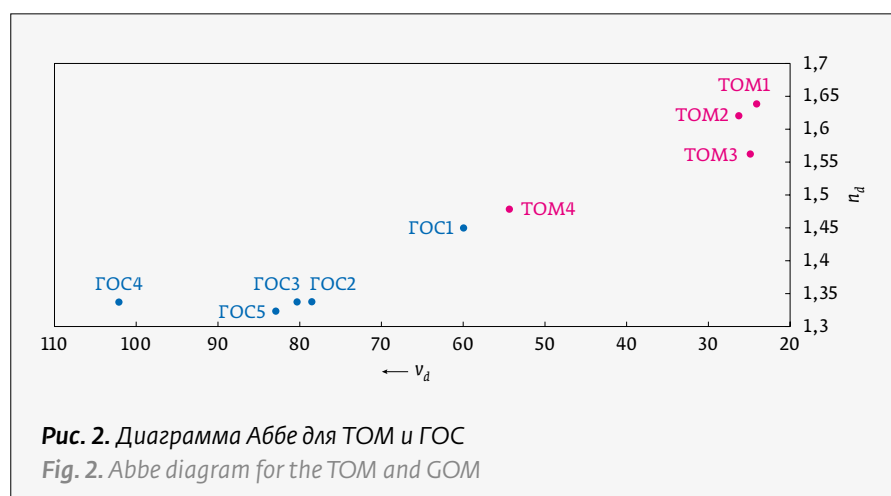


Рис. 2. Диаграмма Аббе для ТОМ и ГОС

Fig. 2. Abbe diagram for the TOM and GOM

Технические характеристики материалов представлены в табл. 4. ЖОС с показателями преломления более 1,5 описаны в [7, 8]. На рис. 4 показана диаграмма зависимости относительной частной дисперсии, $P = \frac{n_g - n_e}{n_F - n_C}$, от коэффициента дисперсии, $v = \frac{n_e - 1}{n_g - n_C}$, для полученных ЖОС. С использованием некоторых представленных ЖОС созданы оптические системы [9-12].

ОПТИЧЕСКИЙ КЛЕЙ

Получен эластичный оптический клей, включающий основу и отвердитель: полиоксипропиленамин и жидкую фотоустойчивую присадку 2-окси-4-алкокси бензофенон. В качестве основы используется смесь эпоксидиановой смолы УП 631 и диглицеდიлового эфира 1,4-бутандиола. Клей может быть использован для склеивания оптических деталей, в частности, при склеивании очковых линз. При использовании рассматриваемого

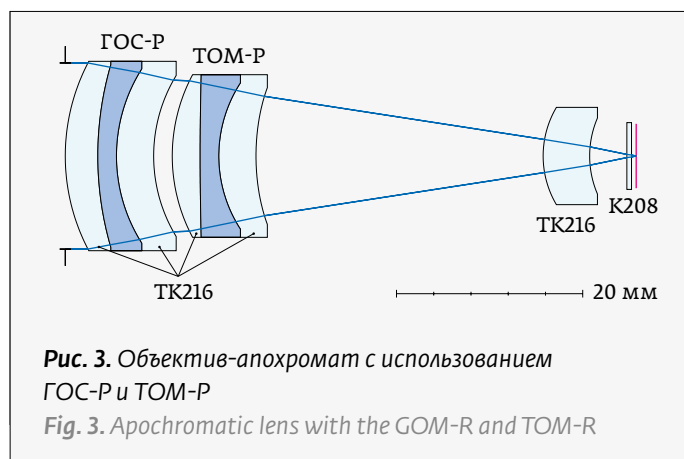


Рис. 3. Объектив-апохромат с использованием ГОС-Р и ТОМ-Р

Fig. 3. Apochromatic lens with the GOM-R and TOM-R

OPTICAL MATERIALS WITH INCREASED RADIATION RESISTANCE

To design the apochromatic lenses with increased requirements for radiation load (radiation-optical resistance to γ -radiation with the doses of 10^6 R), a pair

Таблица 4. Технические характеристики жидких оптических сред (ЖОС)

Table 4. Technical specifications of liquid optical media (LOM)

№	Синтезированные образцы ЖОС на основе: Synthesized LOM samples based on the following:	Показатели преломления при $t = 20^\circ\text{C}$ Refractive indices at $t = 20^\circ\text{C}$				$\frac{dn}{dt}$, град. $^{-1}$ deg. $^{-1}$	Δt , $^\circ\text{C}$
		n_g	n_F	n_e	n_C		
1	ацетамида и воды acetamide and water	1,3401	1,3371	1,3344	1,3310	$-11 \cdot 10^{-5}$	0÷100
2	фторированного спирта и воды fluorinated alcohol and water	1,3264	1,3243	1,3226	1,3204	$-31 \cdot 10^{-5}$	-5÷60
3	тетрабората натрия, соляной кислоты и воды sodium tetraborate, hydrochloric acid and water	1,3921	1,3878	1,3842	1,3796	$-22 \cdot 10^{-5}$	0÷60
4	ацетамида и фосфорной кислоты acetamide and phosphoric acid	1,4238	1,4201	1,4169	1,4127	$-18 \cdot 10^{-5}$	-40÷60
5	соляной и фосфорной кислот hydrochloric and phosphoric acids	1,4188	1,4151	1,4118	1,4076	$-21 \cdot 10^{-5}$	-40÷60
6	мочевины, соляной и фосфорной кислот urea, hydrochloric and phosphoric acids	1,4331	1,4288	1,4250	1,4203	$-20 \cdot 10^{-5}$	-40÷60
7	бромистого калия и фосфорной кислоты potassium bromide and phosphoric acid	1,4263	1,4226	1,4193	1,4150	$-19 \cdot 10^{-5}$	-40÷60
8	фосфорной кислоты и воды phosphoric acid and water	1,4325	1,4389	1,4257	1,4215	$-19 \cdot 10^{-5}$	-40÷60
9	гексилового и фторированного спиртов hexyl and fluorinated alcohols	1,3283	1,3261	1,3242	1,3221	$-14 \cdot 10^{-5}$	-5÷60
10	фторированного спирта, оксибензофенона и ацетона fluorinated alcohol, oxybenzophenone and acetone	1,3477	1,3442	1,3415	1,3385	$-35 \cdot 10^{-5}$	-15÷60
11	фосфатов калия и воды potassium phosphates and water	1,4192	1,4157	1,4126	1,4085	$-20 \cdot 10^{-5}$	-40÷60

клея снижается френелевское отражение, а также увеличивается пропускание и фотоустойчивость при одновременном повышении защиты глаз от опасного УФ-излучения [13]. Очевидно, что использование склейки в качестве очковой линзы позволяет эффективнее устранять aberrации. В качестве примера для сравнения это продемонстрировано на рис. 5.

КРИСТАЛЛЫ НА ОТРАЖЕНИЕ

Нестандартно можно использовать и уже давно применяемые в оптических системах материалы. Так, например, по результатам измерения отражательной способности лейкосапфира (монокристаллический оптический сапфир, Al_2O_3) выяснилась его достаточно хорошая способность отражать ИК-излучение (рис. 6).

Исходя из этой особенности, на основе лейкосапфира можно создавать двухспектральные объективы для одновременной работы в видимом и ИК-излучении. На рис. 7 показан такой

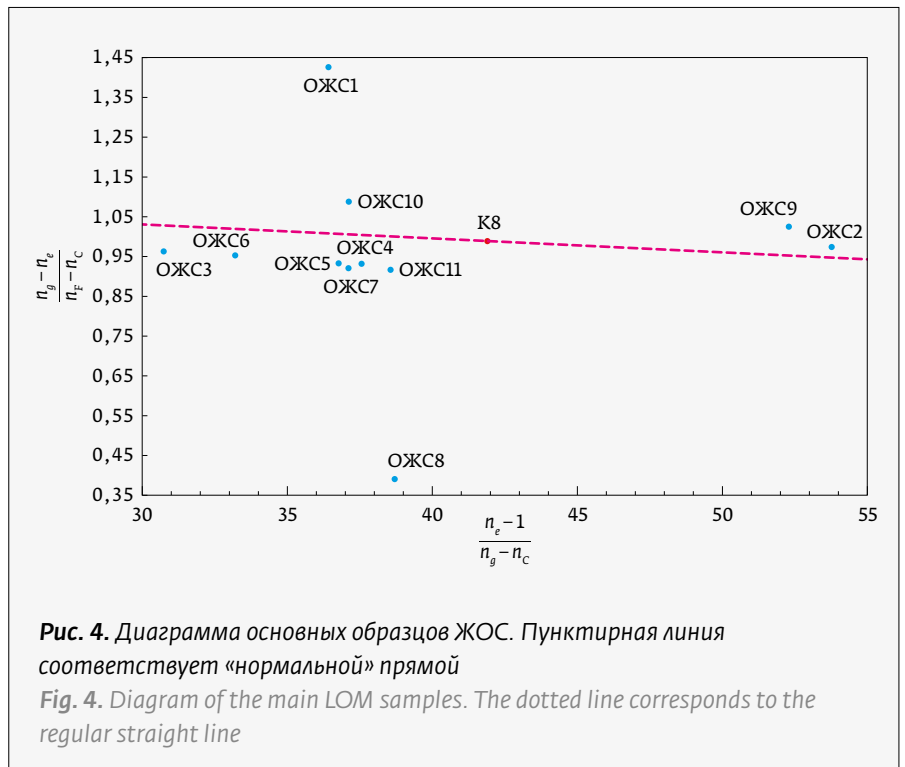


Рис. 4. Диаграмма основных образцов ЖОС. Пунктирная линия соответствует «нормальной» прямой

Fig. 4. Diagram of the main LOM samples. The dotted line corresponds to the regular straight line

of materials has been developed: 1) GOS based on organosiloxanes obtained by hydrolytic polycondensation of dichloropolyorganosiloxanes; 2) TOM, obtained by epoxy resin cleaning from the salt formed dur-

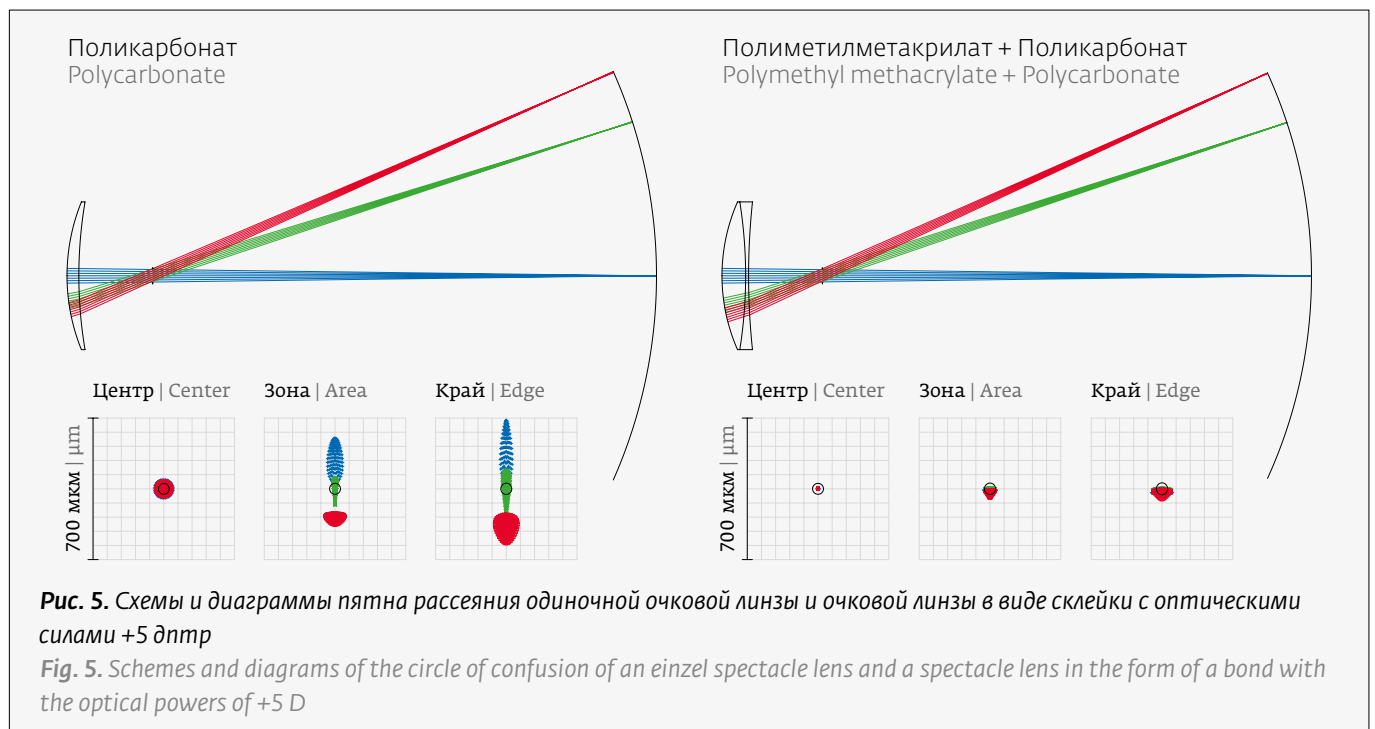


Рис. 5. Схемы и диаграммы пятна рассеяния одиночной очковой линзы и очковой линзы в виде склейки с оптическими силами +5 дптр

Fig. 5. Schemes and diagrams of the circle of confusion of an einzel spectacle lens and a spectacle lens in the form of a bond with the optical powers of +5 D

зеркально-линзовый объектив, где лейкосапфир одновременно является преломляющим (линзой) и отражающим (зеркалом) элементом оптической системы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представлены различные нетрадиционные оптические материалы, разработанные с использованием новых составов и технологий, обладающие уникальными свойствами: терморекты, термопласты, гели, жидкости и клеи. Описаны некоторые области нетипичного применения материалов. Указано их практическое применение в оптических системах.

REFERENCES

1. **Agrinsky M. V., Otkupman D. G., Popov V. K.** Creation and application of polymer optical material based on epoxy resin. *Proceedings of the XXVII International Scientific and Technical Conference on Photoelectronics and Night Vision Devices*. – M.: JSC «NPO «Orion», 2024; 384–385. DOI: 10.51368/978-5-94836-696-8-2024-384.
Агринский М. В., Откупман Д. Г., Попов В. К. Создание и применение полимерного оптического материала на основе эпоксидной смолы. *Материалы XXVII Международной научно-технической конференции по фотозлектронике и приборам ночного видения*. – М.: АО «НПО «Орион». 2024; 384–385. DOI: 10.51368/978-5-94836-696-8-2024-384.
2. RU patent 228286 U1. *Lens for the visible and near IR spectrum region*: 2024116453 / Agrinsky M. V., Otkupman D. G.; declared 15.06.2024; published 21.08.2024, Bulletin No. 24. 8 p. *Объектив для видимой и ближней ИК-области спектра*: пат. 228286 U1 РФ. № 2024116453 / Агринский М. В., Откупман Д. Г.; заявл. 15.06.2024; опубл. 21.08.2024, Бюл. № 24. 8 с.
3. **Agrinsky M. V., Agrinsky N. N., Otkupman D. G., Popov V. K.** Creation and application of optical thermoplastics with a given dispersion curve. *Russian Forum "Microelectronics 2023". 9th Scientific Conference "Electronic components and microelectronic modules"*. Collection of abstracts. – M.: TEKHNOSPHERE, 2023. – P. 644–645.

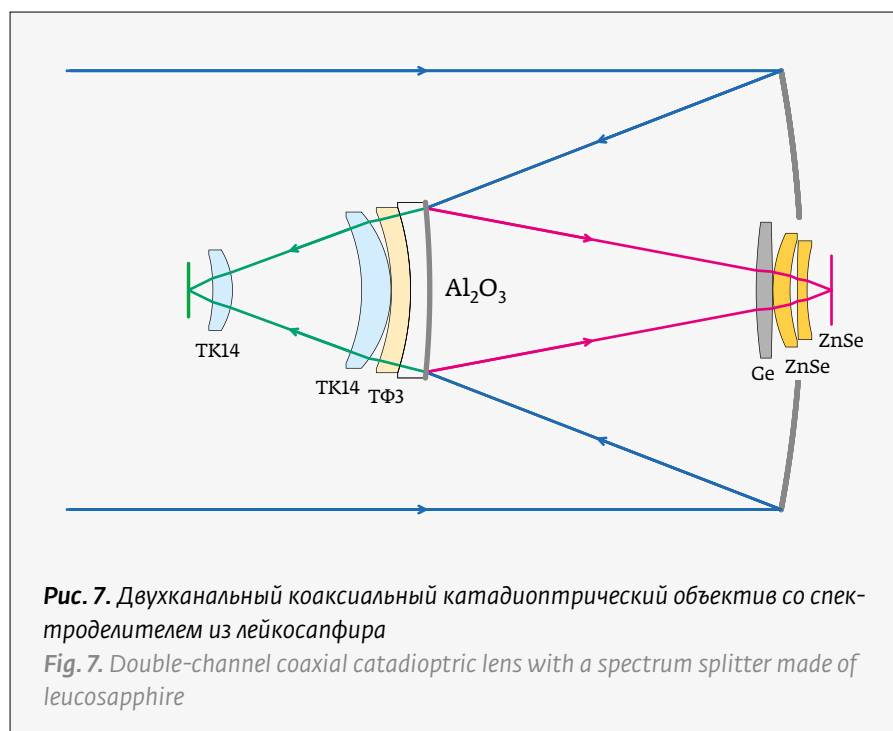


Рис. 7. Двухканальный коаксиальный катадиоптрический объектив со спектроделителем из лейкосапфира

Fig. 7. Double-channel coaxial catadioptric lens with a spectrum splitter of leucosapphire

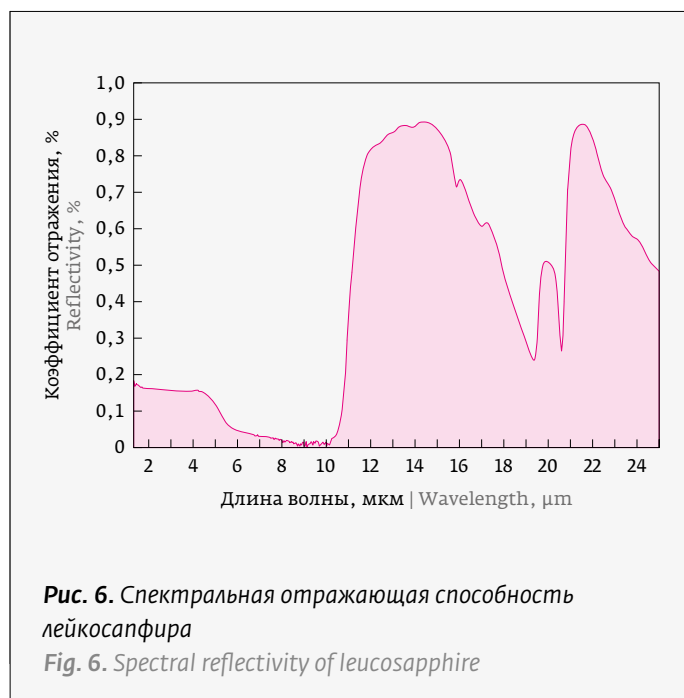


Рис. 6. Спектральная отражающая способность лейкосапфира

Fig. 6. Spectral reflectivity of leucosapphire

ing synthesis. The temperature coefficient of the refractive index of the spectral line is as follows: $Dn/dt = 3 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$. The technical specifications of materials are given in Table 3.

Based on the developed materials, the optical circuits of the lenses have been designed [4, 5]. In the optical systems where the gels and thermoplastics are applied, an important design feature for reliable shape retention of the elements is the need to place them inside at least a three-lens bond made of solid materials on the sides. An example of such a layout in a radiation-resistant lens is shown in Fig. 3, where GOS-R and TOM-R are located between the lenses made of TK216 glass.

OPTICAL FLUIDS

The liquid optical media (LOM) with a special dispersion run (extra-dispersive) [6] have been synthesized for efficient chromatic aberration correction, since the LOM application in lenses allows obtaining apochromatic aberration correction in a 1.5–2 times larger spectral range compared to the glass analogs. In addition,

- Агринский М. В., Агринский Н. Н., Откупман Д. Г., Попов В. К. Создание и применение оптических термопластов с заданным ходом дисперсионной кривой. *Российский форум «Микроэлектроника 2023»*. 9-я Научная конференция «ЭКБ и микроэлектронные модули». Сборник тезисов. – М.: ТЕХНОСФЕРА, 2023. – С. 644–645.
4. **Agrinskiy M., Volynkin V., Startsev V., Sharov A.** Design and application of unconventional optical materials with enhanced radiation hardness. *Journal of Optical Technology*. 2020;87(6):323–325. DOI: 10.1364/JOT.87.000323.
Агринский М. В., Волюнкин В. М., Старцев В. В., Шаров А. А. Создание и применение нетрадиционных оптических материалов с повышенной радиационной устойчивостью. *Оптический журнал*. 2020; 87(5): 96–99. DOI: 10.17586/1023-5086-2020-87-05-96-99.
 5. **Agrinsky M. V., Startsev V. V., Sharov A. A.** Design of microlenses based on created gel-like and thermoplastic optical materials and developed technology for manufacturing lenses from them. *XXVI International Scientific and Technical Conference on Photoelectronics and Night Vision Devices: Abstracts of Reports*. – М.: JSC «NPO «Орион», 2022. – P. 123–124. DOI 10.51368/978-5-7164-1173-9-2022-123.
Агринский М. В., Старцев В. В., Шаров А. А. Проектирование микрообъективов на основе созданных гелеобразных и термопластных оптических материалов и разработанной технологии изготовления из них линз. *XXVI Международная научно-техническая конференция по фотоэлектронике и приборам ночного видения: тезисы докладов*. – М.: АО «НПО «Орион», 2022. – С. 123–124. DOI: 10.51368/978-5-7164-1173-9-2022-123.
 6. **Petrovsky G. T., Tokarev A. A., Volynkin V. M., Agrinsky M. V.** Creation and application of liquid optical media with a special dispersion behavior. *Reports of the USSR Academy of Sciences*. 1988; 302(1): 95–98.
Петровский Г. Т., Токарев А. А., Волюнкин В. М., Агринский М. В. Создание и применение жидких оптических сред с особым ходом. *Доклады АН СССР*. 1988; 302(1):95–98.
 7. RU patent 2804311 C1 *Liquid optical medium with a special dispersion course*. No. 2022131553 / Agrinsky M. V., Volynkin V. M., Klimkin N. A., Mikaelyan I. R.; declared 02.12.2022; published 27.09.2023, Bulletin No. 27. 5 p.
Жидкая оптическая среда с особым ходом дисперсии: пат. 2804311 C1 Рос. Федерация. № 2022131553 / Агринский М. В., Волюнкин В. М., Климкин Н. А., Микаелян И. Р.;

birefringence is not observed in the LOM, there are no hairlines and micrograin inhomogeneities. The transparent region of the LOM is $\Delta\lambda \approx 0.4 \pm 1 \mu\text{m}$. Structurally, the LOM completely fills the hermetically sealed volume between the optical elements in the solid phase state.

The technical specifications of materials are given in Table 4. The LOMs with refractive indices greater than 1.5 are described in [7, 8]. Fig. 4 shows a dependency diagram of the relative partial dispersion $P = \frac{n_g - n_e}{n_F - n_C}$ and

the dispersion factor $v = \frac{n_e - 1}{n_g - n_C}$ for the LOMs obtained.

The optical systems have been developed using some of the presented LOMs [9–12].

OPTICAL ADHESIVE

An elastic optical adhesive has been obtained including a base and a hardener: polyoxypropyleneamine and a liquid photostable additive with 2-hydroxy-4-alkoxy benzophenone. A mixture of epoxy resin UP 631 and 1,4-butanediol diglycidylether is used as a base. The adhesive can be applied for gluing optical parts, in particular when gluing the spectacle lenses. When using the adhesive in question,



АСТРОН
Оптико-механическое конструкторское бюро

www.astrohn.ru

ПРОИЗВОДСТВО ТЕПЛОВИЗИОННЫХ СИСТЕМ БЕЗОПАСНОСТИ
140080, МО, г. Лыткарино, ул. Парковая, д 1; тел.: +7 (495) 215-13-82; info@astrohn.ru



- заявл. 02.12.2022; опубл. 27.09.2023, Бюл. № 27. 5 с.
- RU patent 2794721 C1 *Liquid optical medium* Russian Federation. No. 2022129041 / Vlasova Yu. A.; declared 09.11.2022; published 24.04.2023, Bulletin No. 12; 4 p *Жидкая оптическая среда*: пат. 2794721 С1 Рос. Федерация. № 2022129041 / Власова Ю. А.; заявл. 09.11.2022; опубл. 24.04.2023, Бюл. № 12. 4 с.
 - Agrinsky M. V., Golitsyn A. V., Startsev V. V.** Design an optical system for a hyperspectral camera applying optical fluids with a "special" dispersion path. *Photonics Russia*. 2018; 12(8–76):794–800. DOI: 10.22184/1993-7296.2018.12.8.794.800. **Агринский М. В., Голицын А. В., Старцев В. В.** Проектирование оптической системы для гиперспектральной камеры с применением оптических жидких сред с «особым» ходом дисперсии. *Фотоника*. 2018; 12(8–76):794–800. DOI: 10.22184/1993–7296.2018.12.8.794.800.
 - Agrinsky M. V., Golitsyn A. V., Startsev V. V.** Creation of a hyperspectral lens using optical liquid media. Collection of works of the X International Conference "Fundamental Problems of Optics – 2018": *Collection of works of the X International Conference*. – St. Petersburg: ITMO University. 2018; 411–413. **Агринский М. В., Голицын А. В., Старцев В. В.** Создание гиперспектрального объектива с применением оптических жидких сред. *Сборник трудов X Международной конференции «Фундаментальные проблемы оптики – 2018»: Сборник трудов X Международной конференции*. – СПб: Университет ИТМО, 2018. – С. 411–413.
 - Agrinsky M. V., Golitsyn A. V., Startsev V. V.** Hyperspectral camera using optical liquid media with a "special" dispersion course. *VIII International Conference on Photonics and Information Optics: collection of scientific papers*. – М.: NRNU "MEPhI". 2019; 389–390. **Агринский М. В., Голицын А. В., Старцев В. В.** Гиперспектральная камера с применением оптических жидких сред с «особым» ходом дисперсии. *VIII Международная конференция по фотонике и информационной оптике: сборник научных трудов*. – М.: НИЯУ «МИФИ», 2019. – С. 389–390.
 - RU patent 214866 U1. *Wide-spectrum objective with liquid lenses*. No. 2022127522 / Golitsyn A. V., Fedyakov A. V.; declared 24.10.2022; published 17.11.2022, Bulletin No. 32. 8 p. *Широкоспектральный объектив с жидкостными линзами*: пат. 214866 U1 Рос. Федерация. № 2022127522 / Голицын А. В., Федяков А. В.; заявл. 24.10.2022; опубл. 17.11.2022, Бюл. № 32. 8 с.
 - RU patent 2819446 C2. *Optical adhesive* No. 2022127971 / Akatueva M. A., Bepamyatnov D. A., Bugaev A. S., Golikov I. P.; declared 28.10.2022; published 21.05.2024, Bulletin No. 13. 6 p. *Оптический клей*: пат. 2819446 С2 РФ. № 2022127971 / Акатьева М. А., Беспамятов Д. А., Бугаев А. С., Голиков И. П.; заявл. 28.10.2022; опубл. 21.05.2024, Бюл. № 13. 6 с.

ВКЛАД ЧЛЕНОВ АВТОРСКОГО КОЛЛЕКТИВА

Все авторы внесли свой вклад в концепцию и дизайн исследования.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

АВТОРЫ

- Агринский Михаил Владимирович**, заместитель генерального директора по НИОКР, АО «Оптико-механическое конструкторское бюро «АСТРОН», Московская область, г. Лыткарино, Россия. magr829@yandex.ru, +7 985 987-18-93
ORCID: 0000-0001-9692-7836
- Волынкин Валерий Михайлович**, к. хим. н., старший научный сотрудник, АО «НПО Государственный оптический институт им. С. И. Вавилова», Санкт-Петербург, Россия. vvolynkin@yandex.ru
ORCID: 0000-0002-6325-1507
Scopus ID: 6601999426
РИНЦ ID: 151354
- Откупман Дмитрий Григорьевич**, аспирант кафедры прикладной оптики, старший преподаватель кафедры оптико-электронных приборов, ФГБОУ ВО «Московский государственный университет геодезии и картографии» (МИИГАиК), Москва, Россия. odvk@ya.ru, +7 916 620-07-08
ORCID: 0000-0003-0054-3155
Scopus ID: 57296706300
Web of Science ResearcherID: AAC-2048-2022
РИНЦ ID: 1025768

the Fresnel reflection is reduced, and transmission and photostableness are increased with simultaneous advanced eye protection against dangerous UV radiation [13]. Obviously, using a bond as a spectacle lens allows for more efficient aberration elimination. This fact is shown in Fig. 5 as an example for comparison.

CRYSTALS FOR REFLECTION

The materials that have long been used in the optical systems can also be applied in a non-standard way. For example, based on the reflectivity measurement results of leucosapphire (single-crystal optical sapphire, Al_2O_3), it was found that it has a fairly good ability to reflect IR radiation (Fig. 6).

With due regard to this feature, the dual-spectrum lenses for simultaneous operation in the visible and IR radiation bands can be developed on the basis of leucosapphire. Fig. 7 shows such a catadioptric lens, where leucosapphire is simultaneously a refractive (lens) and reflective (mirror) element of the optical system.

CONCLUSION

Various non-conventional optical materials developed using new compositions and technologies with the unique properties are presented, such as thermosets, thermoplastics, gels, liquids and adhesives. Some areas of non-standard application of such materials are described. Their practical application in the optical systems is indicated.

CONTRIBUTION OF THE AUTHORS

All authors contributed to the concept and design of the study.

CONFLICT OF INTEREST

The authors herewith declare that there is no conflict of interest.

AUTHORS

- Agrinsky Mikhail Vladimirovich**, Deputy General Director for R & D, JSC "Optical and Mechanical Design "ASTRON", Moscow region, Lytkarino, Russia. magr829@yandex.ru, +7 985 987-18-93.
ORCID: 0000-0001-9692-7836
- Volyнкин Valery Mikhailovich**, PhD in Chemistry, Senior Researcher, JSC "Research and Production Corporation S. I. Vavilova", Saint Petersburg, Russia. vvolynkin@yandex.ru
ORCID: 0000-0002-6325-1507
Scopus ID: 6601999426
RSCI ID: 151354
- Otkupman Dmitriy Grigoryevich**, PhD Student, Senior Lecturer, Department of Optical Electronic Devices, Moscow State University of Geodesy and Cartography (MIIGAIK), Moscow, Russia. odvk@ya.ru, +7 916 620-07-08
ORCID: 0000-0003-0054-3155
Scopus ID: 57296706300
Web of Science ResearcherID: AAC-2048-2022
RSCI ID: 1025768

10 лет
конференции
«Дальний Восток
и Арктика»

Юбилейная, X Международная
научно-практическая конференция

Дальний Восток и Арктика: устойчивое развитие

12–13 марта 2025, Москва

25 лет
Дальневосточному
федеральному
округу

Специализированная выставка | Спонсорство

Принять участие



www.arctic.s-kon.ru

Принять участие



www.mrprussia.ru

Принять участие



e-mail

Тел. +7 (495) 662-97-49
(многоканальный)

Электронная почта: arctic@s-kon.ru
www.arctic.s-kon.ru

Официальная поддержка:



Министерство Российской Федерации
по развитию Дальнего Востока и Арктики



МИНПРОМТОРГ
РОССИИ

Организаторы:



МРПА