



УДК 666.162:629.12.011.83

DOI: 10.18577/2307-6046-2015-0-5-12-12

## **КАК СОЗДАВАЛАСЬ ПРОЗРАЧНАЯ АВИАЦИОННАЯ БРОНЯ (К 70-ЛЕТИЮ ВЕЛИКОЙ ПОБЕДЫ)**

Е.Г. Сентюрин

*кандидат технических наук*

И.В. Мекалина

*кандидат технических наук*

А.П. Петрова

*доктор технических наук*

Ю.А. Фролков

Всероссийский институт авиационных материалов (ФГУП «ВИАМ» ГНЦ) – крупнейшее российское государственное материаловедческое предприятие, на протяжении 80 лет разрабатывающее и производящее материалы, определяющие облик современной авиационно-космической техники. 1700 сотрудников ВИАМ трудятся в более чем тридцати научно-исследовательских лабораториях, отделах, производственных цехах и испытательном центре, а также в четырех филиалах института. ВИАМ выполняет заказы на разработку и поставку металлических и неметаллических материалов, покрытий, технологических процессов и оборудования, методов защиты от коррозии, а также средств контроля исходных продуктов, полуфабрикатов и изделий на их основе. Работы ведутся как по государственным программам РФ, так и по заказам ведущих предприятий авиационно-космического комплекса России и мира.

В 1994 г. ВИАМ присвоен статус Государственного научного центра РФ, многократно затем им подтвержденный.

За разработку и создание материалов для авиационно-космической и других видов специальной техники 233 сотрудникам ВИАМ присуждены звания лауреатов различных государственных премий. Изобретения ВИАМ отмечены наградами на выставках и международных салонах в Женеве и Брюсселе. ВИАМ награжден 4 золотыми, 9 серебряными и 3 бронзовыми медалями, получено 15 дипломов.

Возглавляет институт лауреат государственных премий СССР и РФ, академик РАН, профессор Е.Н. Каблов.

*Е.Г. Сентюрин<sup>1</sup>, И.В. Мекалина<sup>1</sup>, А.П. Петрова<sup>1</sup>, Ю.А. Фролков<sup>1</sup>*

## **КАК СОЗДАВАЛАСЬ ПРОЗРАЧНАЯ АВИАЦИОННАЯ БРОНЯ (К 70-ЛЕТИЮ ВЕЛИКОЙ ПОБЕДЫ)**

*Создание прозрачной авиационной брони стало одной из ярких и славных страниц истории ВИАМ, авиации и науки. В период войны ее разработка имела стратегическое значение для авиации. Перед разработчиками ВИАМ была поставлена задача: в короткие сроки создать пулестойкое прозрачное стекло для самолетов. Ценой огромных усилий эта труднейшая задача была решена. Созданная в ВИАМ лаборатория самолетного остекления совершила настоящий гражданский подвиг. В сжатые сроки было создано и развернуто производство прозрачной брони не только для истребителя Ил-2, но и для истребителей Як-1, Як-3, Як-9, Ла-5, Ла-7.*

*За разработку и освоение технологии прозрачной брони главным конструкторам, руководителям работ, а также сотрудникам производства в 1946 г. была присуждена Сталинская премия.*

*Созданная в начале войны, лаборатория самолетного остекления стала уникальным центром материаловедения и технологий авиационного остекления. Начало многих направлений глубоких научных исследований было положено благодаря практическим и экспериментальным исследованиям ВИАМ.*

**Ключевые слова:** *прозрачная авиационная броня, локальное поражение, ориентация органического стекла, термостабильные стекла, частично сшитая структура.*

*E.G. Sentyurin, I.V. Mekalina, A.P. Petrova, Y.A. Frolov*

## **HOW THE TRANSPARENT AIRCRAFT ARMOR WAS CREATED (to the 70th anniversary of the Great victory)**

*Creation of aviation armor became one of the glorious stages of the history of VIAM, aviation and science. In the war period, its development was of strategic importance for aviation. A special task was given to VIAM: bullet-resistant transparent glazing of aircraft should be developed within a short-time period. It was managed to solve this heavy task due to supreme effort. The laboratory for aircraft glazing established at VIAM had performed a real civil feat. A process for production of transparent armor not only for Il-2 attack aircraft, but also for Yak-1, Yak-3, Yak-9, La-5 and La-7 fighters was developed and commercialized on a tight timetable.*

*In 1946, the related chief designers, top managers and employees of production plants were awarded with Stalin prize for development and mastering of transparent armor production technology.*

*The laboratory for aircraft glazing established at the beginning of the war became a unique center of materials science and technologies of aviation glazing. A huge number of fundamental researches have their origin in practical and experimental activity of VIAM in this area.*

**Keywords:** *transparent aircraft armor, local damage, orientation of organic glass thermo-stable glass, partially cross-linked structure.*

---

<sup>1</sup>Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Государственный научный центр Российской Федерации [Federal state unitary enterprise «All-Russian scientific research institute of aviation materials» State research center of the Russian Federation] E-mail: admin@viam.ru

В истории ВИАМ, авиации и науки в целом разработка авиационной брони занимает особое место. Как писал один из ее создателей, профессор Н.М. Скляр, сама идея «заковать в стальную броню «летающие этажерки», наполовину изготовленные из дерева и ткани» в те времена была неслыханно смелой. Дискуссии по поводу возможности существования прозрачной авиаброни велись еще в довоенное время. Многие авторитетные авиаконструкторы не верили в создание бронированного воздушного судна и были убеждены, что броня утяжелит самолет, и это снизит его основные эксплуатационные характеристики. Тем не менее, в 1934 г. один из основателей ВИАМ И.И. Сидорин с присущей ему дальновидностью не стал отказываться от исследований в области этого, по мнению многих, бесперспективного направления. Собрав команду единомышленников, он продолжал работать по изысканию авиационной брони.

С началом войны ситуация кардинально изменилась. Советская армия несла колоссальные потери, на счету был каждый штурмовик. Совместными усилиями ВИАМ, конструкторского бюро и нескольких заводов в экстренном режиме развернулись экспериментальные работы по созданию бронированного сталью самолета [1–4]. Одним из способов повышения боевой живучести самолетов стала защита кресел пилота и экипажа от наиболее вероятных тыльных атак при помощи металлических бронеспинок. Однако штурмовые и разведывательные самолеты оставались уязвимыми для обстрела и через остекление.

Создание прозрачной авиационной брони стало стратегической задачей для авиаконструкторов военных лет. В мае 1942 г. руководство ВИАМ приняло решение организовать лабораторию самолетного остекления в г. Куйбышеве, куда был эвакуирован весь институт. Начальником лаборатории назначили доктора химических наук, Б.В. Ерофеева, его заместителем – М.М. Гудимова. В форме приказа (со всеми вытекающими последствиями по законам военного времени в случае его невыполнения) была поставлена задача: экстренно осуществить разработку прозрачной авиационной брони, в первую очередь для штурмовика Ил-2 (фашисты прозвали его «черной смертью»). Чтобы обеспечить защиту экипажа самолета от бронебойных пуль калибра 7,62 мм, броня должна была обладать максимальной пулестойкостью, а кроме того – высокими оптическими свойствами. Как совместить их – в этом и состояла главная сложность. Если стальная броня спинок кресел могла быть частично гетерогенной, то гомогенность прозрачной брони полностью исключалась [5, 6].

За короткие сроки были проведены широкие теоретические и экспериментальные исследования механизмов и особенностей взаимодействия снаряда с броней и его

торможения. Одновременно завод №148 г. Дзержинска (ныне ОАО «Дзержинское оргстекло») работал над созданием технологий производства и модификации бронестеклоблоков, отработкой которых занималась специальная межведомственная научно-исследовательская бригада «К-01» (руководитель М.М. Гудимов).

Защитные свойства прозрачной брони обеспечивала композиция с внешним слоем из закаленного силикатного стекла (сталинита) и внутренним слоем («подушкой») из органического полиметилметакрилатного стекла. Внешний слой способствовал раздроблению бронебойной пули, а внутренний – погашению кинетической энергии пули за счет высокой энергоемкости и вязкости. Но самое главное – удалось получить постоянное значение скорости распространения трещин (1600 м/с) в силикатном стекле, не зависящей от скорости снаряда и других условий опыта, а также от так называемого встречного разрушения, развивающегося в значительном удалении от внедряющегося снаряда, на границе стекло–склеивающий слой вследствие отражения от нее упругого импульса, который возбуждается при ударе снаряда о броню.

Экспериментально было установлено оптимальное соотношение между толщинами силикатного и органического стекла для достижения наивысшей пулестойкости. Толщина органического стекла должна была превосходить толщину силикатного в два раза, что соответствует эквивалентности их весовых характеристик в составе остекления. Кроме того, в случае локального поражения несколькими пулями одновременно броня должна частично сохранять свою прозрачность, обеспечивая тем самым возможность пилотирования самолета.

Для этого на сплошной слой «подушки» из органического стекла при помощи эластичной клеящей пленки крепили отдельные пластины или «таблетки» сталинита. Такая композиция называлась мозаичной или «таблетированной». Комплект брони штурмовика Ил-2 состоял из пяти частей – лобовой, левой и правой боковых и заголовных деталей. На каждую «подушку» из оргстекла наклеивали 17 «таблеток» сталинита; повреждение одной или нескольких пластин не нарушало прозрачность остального остекления (рис. 1). Таким образом, удалось совместить пулестойкость и высокие оптические свойства брони, опытные образцы которой, изготовленные на заводе №148, сразу устанавливали на боевые самолеты.

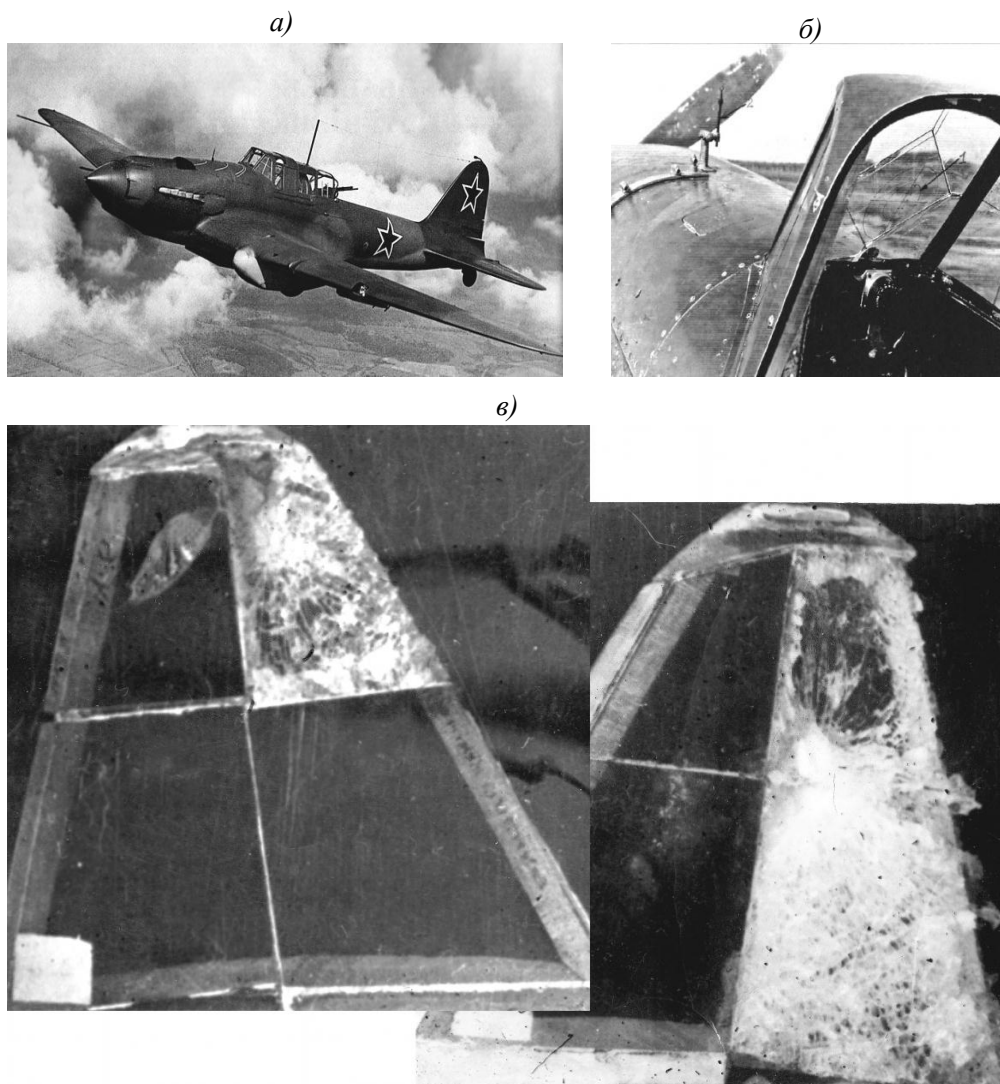


Рис. 1. Самолет Ил-2 (а); прозрачная броня Ил-2 (б); прозрачная броня после испытаний (в)

Аналогичную броню одновременно разрабатывали и выпускали для истребителей Як-1, Як-3, Як-9, Ла-5, Ла-7 и попутно решали многие научные и технологические задачи. Обнаружили три вида дефектов прозрачной брони:

- оптические искажения;
- непрочлеи и пузыри на границе склеиваемых слоев;
- трещины серебра в «подушке» из оргстекла.

Анализ причин возникновения дефектов позволил в короткие сроки разработать технологические методы повышения качества прозрачной авиационной брони. Установили, что оптические искажения обусловлены отступлением радиуса кривизны реальных пластин силикатного и органического стекол от их параллельности, а непрочлеи и

пузыри – деформацией оргстекла в эксплуатационных условиях перепада температур по толщине. Для расчета термических деформаций использовали формулу:

$$\Delta = \frac{l^2 \alpha t}{8 h},$$

где  $\Delta$  – стрела прогиба, мм;  $l$  – размер квадратной пластины, мм;  $h$  – толщина пластины, мм;  $\alpha$  – температурный коэффициент линейного расширения (ТКЛР) оргстекла,  $K^{-1}$ ;  $t$  – разность температур наружной и внутренней поверхностей пластины,  $^{\circ}C$ .

Поскольку значения ТКЛР органического ( $\sim 85 \cdot 10^{-6} / K^{-1}$ ) и силикатного ( $\sim 90 \cdot 10^{-7} / K^{-1}$ ) стекла различаются на порядок, появление трещин серебра обусловлено высокой концентрацией остаточных растягивающих напряжений на поверхности оргстекла.

Дефекты прозрачной брони устранили модифицированием технологии производства – плоскопараллельным ориентированием пластин из оргстекла, их термообработкой, повышением эластичных свойств и толщины склеивающего слоя до 3 мм. Прозрачная броня иностранного производства представляла собой пакет силикатных стекол, склеенных в монолит, и по характеристикам уступала отечественной, которая обеспечивала пулестойкость при обстреле с дистанции 50 м. При всех равных условиях американская броня того же веса обеспечивала защиту только с дистанции 800 м [6, 8].

За разработку и освоение технологии прозрачной авиационной брони генеральные конструкторы С.В. Ильюшин, А.В. Яковлев и И.С. Лавочкин, специалисты ВИАМ Б.В. Ерофеев и М.М. Гудимов, а также четверо работников заводов №148 и К-4, обеспечивших серийное производство брони, были удостоены Сталинской премии.

Во время одного из своих визитов в ВИАМ главный маршал авиации Советского Союза П.С. Кутахов, осматривая стенд истории создания прозрачной брони, обмолвился, что он, «не будь ее во время войны, не разговаривал бы сейчас с сотрудниками ВИАМ». В одном из его боевых воздушных поединков именно броневое остекление на уровне головы остановило две вражеские крупнокалиберные пули, не долетевшие до цели несколько миллиметров. А скольким еще отважным советским летчикам прозрачная броня спасла жизнь!

С самого начала лаборатория самолетного остекления ВИАМ сделалась уникальным центром материаловедения и технологий конструкций авиационного остекления. Она позволила осуществить комплексное решение проблемы остекления – не только создать органические стекла и слоистые материалы на их основе, но и усилиями ведущих лабораторий ВИАМ разработать специальные герметики, клеи, крепежные

ленты, прозрачные эластомеры, а также методы комплексного испытания всех материалов прозрачной брони. Стало доброй традицией проводить теоретические и научные исследования, а также работы по остеклению совместно с ОКБ, институтами и предприятиями авиационной и химической промышленности, Академии наук и Высшей школы [9–14].

В послевоенное время объем работ по остеклению и их значимость не уменьшились. Были созданы новые типы прозрачной авиационной брони для защиты самолетов: от бронебойных пуль калибра 12,7 мм, а также снарядов калибра  $\geq 20$  мм.

Практические, экспериментальные и технологические работы ВИАМ положили начало многим направлениям глубоких научных исследований.

В 50-е годы прошлого века сотрудники ВИАМ освоили технологию ориентации и создали ориентированное органическое стекло, являющееся основным материалом для остекления самолетов и в настоящее время. Такое стекло получают плоскостной вытяжкой или сжатием оргстекла при температуре высокоэластической деформации, что значительно повышает его пластические свойства:

- ударная вязкость увеличивается в 2 раза;
- относительное удлинение при разрыве – в 3–5 раз.

Ориентированное стекло в отличие от неориентированного при ударах разрушается локально и не образует трещин (рис. 2) [10, 15].

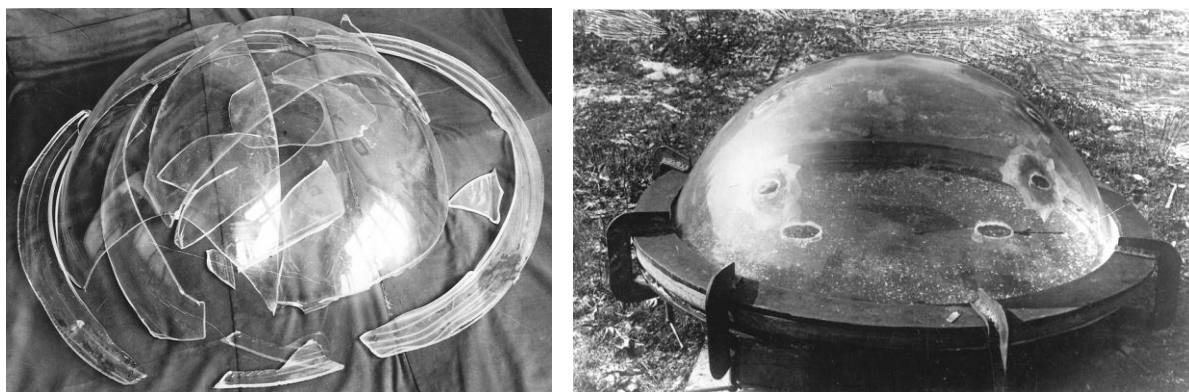


Рис. 2. Детали остекления из неориентированного и ориентированного стеклов после испытаний на обстрел

Особую важность имело создание надежного теплостойкого остекления как для военных, так и пассажирских самолетов. Решением Правительства был организован специализированный совет по проблеме создания и выпуска в стране теплостойких и высокопрочных органических стекол, отвечающих запросам бурно развивающейся авиационной техники. Возглавил совет академик АН СССР В.А. Каргин – признанный

лидер отечественной полимерной науки. В состав совета вошли ведущие научные организации Академии наук и химической промышленности. Головной организацией от авиационной промышленности стал ВИАМ. На него возложили координацию всех работ – от синтеза новых стекол, их производства и создания технологии упрочнения до формообразования и испытания деталей остекления [16, 17].

Разработанные органические стекла обеспечили надежное остекление военных и пассажирских самолетов. Созданное ВИАМ ориентированное стекло АО-120 в наши дни является основным материалом остекления большинства отечественных самолетов и вертолетов. Фторакрилатные стекла Э-2 и СО-200 до сих пор не имеют аналогов в мире по теплостойкости (180–200°C) (рис. 3).



Рис. 3. Самолет МиГ-25, способный развивать скорость более 2,8 М (температура на поверхности до 230°C), остекленный фторакрилатным оргстеклом Э-2

В настоящее время ВИАМ совместно с ФГУП «НИИ полимеров им. В.А. Каргина» и предприятием ООО «Рошибус» осваивает экологически щадящее производство целого ряда новых экономичных, теплостойких, серебростойких стекол частично сшитой структуры АО-120С, АО-120СМ, ВОС-2АО и др., а также проводит широкие исследования по разработке и применению в авиационном остеклении атмосферостойкого поликарбоната совместно с ОАО «Институт пластмасс» и ФГУП «ГНИИХТЭОС» [18–21].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Скляр Н.М. Путь длиной в 70 лет /Под общ. ред. Е.Н. Каблова. М. МИСиС–ВИАМ. 2002. С. 44–45;195–197.
2. Каблов Е.Н. Инновационные разработки ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ по реализации «Стратегических направлений развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года» //Авиационные материалы и технологии. 2015. №1 (34). С. 3–33.
3. Каблов Е.Н. Современные материалы – основа инновационной модернизации России //Металлы Евразии. 2012. №3. С. 10–15.
4. Каблов Е.Н. Авиакосмическое материаловедение //Все материалы. Энциклопедический справочник. 2008. №3. С. 2–14.

5. Гудимов М.М., Перов Б.В. Органическое стекло. М.: Химия. 1981. 216 с.
6. Гудимов М.М., Сентюрин Е.Г. Прозрачная броня и органические стекла /В кн.: Авиационные материалы на рубеже XX–XXI веков: Науч.-технич. сб. М.: ВИАМ. 1994. С. 370–373.
7. Ерасов В.С., Нужный Г.А., Гриневич А.В., Терехин А.Л. Трещиностойкость авиационных материалов в процессе испытания на усталость //Труды ВИАМ. 2013. №11. Ст. 01 (viam-works.ru).
8. Сентюрин Е.Г., Мекалина И.В., Тригуб Т.С., Климова С.Ф. Модифицированные органические стекла для перспективной авиационной техники //Все материалы. Энциклопедический справочник. 2012. №2. С. 2–4.
9. Мекалина И.В., Сентюрин Е.Г., Климова С.Ф., Богатов В.А. Новые «серебростойкие» органические стекла //Авиационные материалы и технологии. 2012. №4. С. 45–48.
10. Мекалина И.В., Богатов В.А., Тригуб Т.С., Сентюрин Е.Г. Авиационные органические стекла //Труды ВИАМ. 2013. №11. Ст. 04.
11. Мекалина И.В., Сентюрин Е.Г., Тригуб Т.С., Айзатулина М.К. Авиационные органические стекла для самолетов и вертолетов, эксплуатирующихся в морских условиях //Пластические массы. 2013. №3. С. 63–64.
12. Мекалина И.В., Сентюрин Е.Г., Тригуб Т.С., Айзатулина М.К. Стойкость авиационных органических стекол к концентраторам напряжений //Все материалы. Энциклопедический справочник. 2012. №4. С. 30–33.
13. Крынин А.Г., Хохлов Ю.А., Богатов В.А., Кисляков П.П. Прозрачные интерференционные покрытия для функциональных материалов остекления //Труды ВИАМ. 2013. №11. Ст. 05.
14. Мекалина И.В., Тригуб Т.С., Богатов В.А., Сентюрин Е.Г. Новое высокотеплостойкое ориентированное оргстекло марки ВОС-2АО //Авиационные материалы и технологии. 2010. №3. С. 14–19.
15. Богатов В.А., Тригуб Т.С., Мекалина И.В., Айзатулина М.К. Оценка эксплуатационных характеристик новых теплостойких органических стекол ВОС-1 и ВОС-2 //Авиационные материалы и технологии. 2010. №1. С. 21–26.
16. Мекалина И.В., Тригуб Т.С., Петров А.А., Богатов В.А. Исследование технологических и эксплуатационных свойств новых теплостойких авиационных оргстекол //Пластические массы. 2013. №10. С. 58–60.
17. Петров А.А., Климова С.Ф., Мекалина И.В., Сентюрин Е.Г., Богатов В.А. Новые акрилатные органические стекла частично сшитой структуры //Успехи в химии и химической технологии. 2012. Т. XXVI. №4 (133). С. 70–72.
18. Горелов Ю.П., Мекалина И.В., Тригуб Т.С. и др. Химическое модифицирование прозрачных акрилатных полимеров для повышения эксплуатационных свойств деталей авиационного остекления //Российский химический журнал. 2010. Т. LIV. №1. С. 79–84.

19. Мекалина И.В., Сентюрин Е.Г., Богатов В.А. Новые конструкционные органические стекла //Вопросы оборонной техники. Сер. 15. 2009. №3–4. С. 33–39.
20. ВИАМ в годы Великой Отечественной войны /Авт.-сост. Е.Н. Каблов, А.П. Петрова, И.М. Демонис: Буклет. М.: ВИАМ. 2010.
21. Петров А.А., Мекалина И.В., Е.Г. Сентюрин, Богатов В.А. Исследование особенностей изготовления деталей остекления из частично сшитых органических стекол //Авиационные материалы и технологии. 2013. №2. С. 32–34.

#### REFERENCES LIST

1. Sklyarov N.M. Put' dlinnoyu v 70 let [Way of 70 years] /Pod obshch. red. E.N. Kablova. M. MISIS–VIAM. 2002. S. 44–45; 195–197.
2. Kablov E.N. Innovacionnye razrabotki FGUP «VIAM» GNC RF po realizacii «Strategicheskikh napravleniy razvitiya materialov i tekhnologiy ih pererabotki na period do 2030 goda» [Innovative development of VIAM Federal State Unitary Enterprise of GNTs Russian Federation on implementation «The strategic directions of development of materials and technologies of their processing for the period till 2030»] //Авиационные материалы и технологии. 2015. №1 (34). С. 3–33.
3. Kablov E.N. Sovremennye materialy – osnova innovacionnoy modernizacii Rossii [Modern materials – basis of innovative modernization of Russia] //Metally Evrazii. 2012. №3. С. 10–15.
4. Kablov E.N. Aviakosmicheskoe materialovedenie [Aerospace materials science] //Vse materialy. Enciklopedicheskiy spravochnik. 2008. №3. С. 2–14.
5. Gudimov M.M., Perov B.V. Organicheskoe steklo [Organic glass]. М.: Himiya. 1981. 216 s.
6. Gudimov M.M., Sentyurin E.G. Prozrachnaya bronya i organicheskie stekla [The transparent reservation and organic glasses] /V kn. Aviacionnye materialy na rubezhe XX–XXI vekov: Nauch.-tekhnich. sb. М.: VIAM. 1994. С. 370–373.
7. Erasov V.S., Nuzhnyy G.A., Grinevich A.V., Terekhin A.L. Treshchinostoykost' aviacionnyh materialov v processe ispytaniya na ustalost' [Treshchinostoykost' of aviation materials in the course of fatigue test] //Trudy VIAM. 2013. №11. St. 01 (viam-works.ru).
8. Sentyurin E.G., Mekalina I.V., Trigub T.S., Klimova S.F. Modificirovannye organicheskie stekla dlya perspektivnoy aviacionnoy tekhniki [The modified organic glasses for perspective aviation engineering] //Vse materialy. Enciklopedicheskiy spravochnik. 2012. №2. С. 2–4.
9. Mekalina I.V., Sentyurin E.G., Klimova S.F., Bogatov V.A. Novye «serebrostoykie» organicheskie stekla [New «serebrostoyky» organic glasses] //Авиационные материалы и технологии. 2012. №4. С. 45–48.
10. Mekalina I.V., Bogatov V.A., Trigub T.S., Sentyurin E.G. Aviacionnye organicheskie stekla [Aviation organic glasses] //Trudy VIAM. 2013. №11. St. 04 (viam-works.ru).
11. Mekalina I.V., Sentyurin E.G., Trigub T.S., Ayzatulina M.K. Aviacionnye organicheskie stekla dlya samoletov i vertoletov, ehkspluatiruyushchihsya v morskikh usloviyah [Aviation organic glass-

- es for airplanes and the helicopters which are maintaining in sea conditions] //Plasticheskie massy. 2013. №3. S. 63–64.
12. Mekalina I.V., Sentyurin E.G., Trigub T.S., Ayzatulina M.K. Stoykost' aviacionnyh organicheskikh stekol k koncentratoram napryazheniy [Resistance of aviation organic glasses to concentrators of tension] //Vse materialy. Enciklopedicheskiy spravochnik. 2012. №4. S. 30–33.
  13. Krynin A.G., Hohlov YU.A., Bogatov V.A., Kislyakov P.P. Prozrachnyye interferencionnyye pokrytiya dlya funktsional'nyh materialov ostekleniya [Transparent interferential coatings for functional materials of glazing] //Trudy VIAM. 2013. №11. St. 05 (viam-works.ru)
  14. Mekalina I.V., Trigub T.S., Bogatov V.A., Sentyurin E.G. Novoe vysokoteplostoykoe orientirovannoe orgsteklo marki VOS-2AO [The new high-heatresistant oriented organic glass of the VOS-2AO brand] //Aviacionnye materialy i tekhnologii. 2010. №3. S. 14–19.
  15. Bogatov V.A., Trigub T.S., Mekalina I.V., Ayzatulina M.K. Ocenka ehkspluatatsionnykh harakteristik novykh teplostoykikh organicheskikh stekol VOS-1 i VOS-2 [Assessment of utilization properties of new heatresistant organic glasses VOS-1 and VOS-2] //Aviacionnye materialy i tekhnologii. 2010. №1. S. 21–26.
  16. Mekalina I.V., Trigub T.S., Petrov A.A., Bogatov V.A. Issledovanie tekhnologicheskikh i ehkspluatatsionnykh svoystv novykh teplostoykikh aviacionnykh orgstekol [Research of technological and operational properties of new heatresistant aviation organic glasses] //Plasticheskie massy. 2013. №10. S. 58–60.
  17. Petrov A.A., Klimova S.F., Mekalina I.V., Sentyurin E.G., Bogatov V.A. Novye akrilatnye organicheskie stekla chastichno sshitoy struktury [New acrylate organic glasses of partially sewed structure] //Uspekhi v himii i himicheskoy tekhnologii. 2012. T. XXVI. №4 (133). S. 70–72.
  18. Gorelov YU.P., Mekalina I.V., Trigub T.S. i dr. Himicheskoe modifitsirovanie prozrachnykh akrilatnykh polimerov dlya povysheniya ehkspluatatsionnykh svoystv detaley aviacionnogo ostekleniya [Chemical modifying of transparent acrylate polymers for increase of operational properties of details of aviation glazing] //Rossiyskiy himicheskii zhurnal. 2010. T. LIV. №1. S. 79–84.
  19. Mekalina I.V., Sentyurin E.G., Bogatov V.A. Novye konstruktsionnye organicheskie stekla [New constructional organic glasses] //Voprosy oboronnoy tekhniki. Ser. 15. 2009. №3–4. S. 33–39.
  20. VIAM v gody velikoy otechestvennoy voyny [VIAM in days of the Great Patriotic War] /Avtory-sostaviteli E.N. Kablov, A.P. Petrova, I.M. Demonis: Buklet. M.: VIAM. 2010.
  21. Petrov A.A., Mekalina I.V., E.G. Sentyurin, Bogatov V.A. Issledovanie osobennostey izgotovleniya detaley ostekleniya iz chastichno sshitykh organicheskikh stekol [Research of features of manufacturing of details of glazing from partially sewed organic glasses] //Aviacionnye materialy i tekhnologii. 2013. №2. S. 32–34.