УДК: 575.317: 681.7.066.6 DOI: 10.53816/23061456_2021_7–8_157

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ СПЕКТРАЛЬНОГО КОЭФФИЦИЕНТА ПРОПУСКАНИЯ БРОНЕВЫХ СТЕКОЛ КЛАССА ЗАЩИТЫ 3ХЛ ОТ ВРЕМЕНИ ЭКСПЛУАТАЦИИ

RESEARCH INTO DEPENDENCE OF THE CHANGING OF SPECTRAL TRANSMISSION COEFFICIENT OF ARMORED GLASSES OF THE 3RD CLASS PROTECTION ON THEIR OPERATING TIME

Канд. техн. наук Ю.Ю. Меркулов[1], Б.Н. Добряков[1],
д-р техн. наук С.В. Солк[1], канд. техн. наук Н.М. Сильников[2]

Ph.D. Yu.Yu. Merkulov, B.N. Dobryakov, D.Sc. S.V. Solk, Ph.D. N.M. Silnikov

[1]АО «НИИ ОЭП», [2]АО «НПО Спецматериалов»

В статье рассматриваются защитные (броневые) стекла, их конструкция и оптические характеристики, а также их изменение с течением времени. Основное внимание уделено проблеме «старения» стекол, которое приводит к значительному ухудшению баллистических характеристик. Показано влияние процесса «старения» на изменение оптических характеристик. Описана методика измерения спектрального коэффициента пропускания защитных стекол и применяемая для этого аппаратура. Приведены результаты проведённых измерений оптических характеристик защитных стекол 3-го класса защиты. Выявлена зависимость изменения спектрального коэффициента пропускания от их сроков эксплуатации. Определены спектральные диапазоны, в которых изменение коэффициентов пропускания защитных стёкол носит наиболее выраженный характер. Определены требования к источникам излучения, которые могут быть использованы в этих спектральных диапазонах.
Ключевые слова: защитные (броневые) стекла, баллистические свойства, коэффициент пропускания.

The armored glasses, their types, construction and optical properties, as well as their changing over time are examined in the paper. Special attention is given to the «ageing» of glasses, the process, that causes significant deterioration of their ballistic characteristics. The influence of this process on their optical properties is also shown. The paper describes the method and the equipment that were used for measuring spectral transmission coefficient of armored glasses. The measurement results of the optical properties of the 3rd class protection glasses are presented below. During the research a relationship between the changing of spectral transmission coefficient and operating time was revealed. The spectral bandwidths that show the most pronounced change of the spectral transmission coefficient were determined and the requirements for radiation sources that can be used in these bandwidths were established.
Keywords: armored glass, ballistic properties, transmission coefficient.

Броневые стекла или прозрачная броня, как правило, представляют собой многослойную конструкцию, состоящую из склеенных между собой стеклянных пластин [1]. Эти пластины могут быть соединены между собой при помощи пленок или специальных полимерных составов, заливаемых в пространство между пластинами (рис. 1). Монолитные свойства такой конструкции броневых стекол приобретаются благодаря высокой адгезии пленок и полимерных составов к стеклам [2].

Полимерные составы и плёнки подвержены естественному старению [3, 4]. Влияние атмосферных изменений среды их эксплуатации в совокупности с приложенными нагрузками (деформации и напряжения под собственным весом) несомненно оказывают воздействие на сохранение баллистических свойств. В то же время, внутренние структурные процессы в составе полимерного материала, а также воздействие ультрафиолетового излучения вносят заметный вклад в деградацию слоев с их последующим разрушением [5].

Многолетний опыт АО «НПО Спецматериалов» в испытаниях по определению изменений баллистической стойкости броневых стекол от времени их эксплуатации показывает, что примерно с 6-го года хранения или эксплуатации стекол процент пробитых образцов по отношению к общему числу подвергнутых испытаниям начинает расти. Так, на 6-ом году эксплуатации данный показатель составил более 20 %, на 7-ом — более 35 %, а на десятом — более 85 %.

Рис. 1. Схема типовой многослойной прозрачной брони: 1 — слои стекла; 2 — прозрачный клей

Поскольку, при баллистических испытаниях дальнейшая эксплуатация стекол невозможна в виду их физического разрушения, в АО «НИИ ОЭП» (г. Сосновый Бор) был предложен метод неразрушающего контроля качества броневых стекол, основанный на измерениях спектрального пропускания образцов разных классов защиты [6]. По результатам измерений было выявлено несколько характерных особенностей проявления изменений в пропускании. Во-первых, с ухудшением баллистических свойств связано снижение пропускания в спектральном диапазоне от 300 до 1000 нм. Во-вторых, изменение пропускания на отдельно взятых участках данного спектрального диапазона проявлялось в различной степени, то есть селективно в заданном спектральном диапазоне [7].

В настоящей работе исследованию подлежали образцы класса защиты 3ХЛ, вырезанные из стекол, изготовленных по ГОСТ Р51136-2008 [8]. Данные образцы были выбраны из соображений наличия образцов 2014–2017 годов изготовления с разницей в один год. Образцы соответствующим образом пронумерованы, определены их толщины по геометрическому центру (рис. 2).

В качестве аппаратуры для исследований были использованы источники монохроматического излучения (лазерные диоды с коллимирующей оптикой), работающие на длины волн 405, 450, 488, 505, 520, 532, 635 и 808 нм и определитель мощности лазерного излучения фирмы «Standa». Оптические измерения проводились на территории АО «НИИ ОЭП». Измерительная установка показана на рис. 3.

Образцы устанавливались поочередно по дате производства. Продолжительность измерений для каждого образца составляла не менее 1 минуты для достижения максимальной стабилизации интенсивности лазерного излучения (табл. 1). Оптические измерения проводились в лабораторных помещениях 2-й категории при

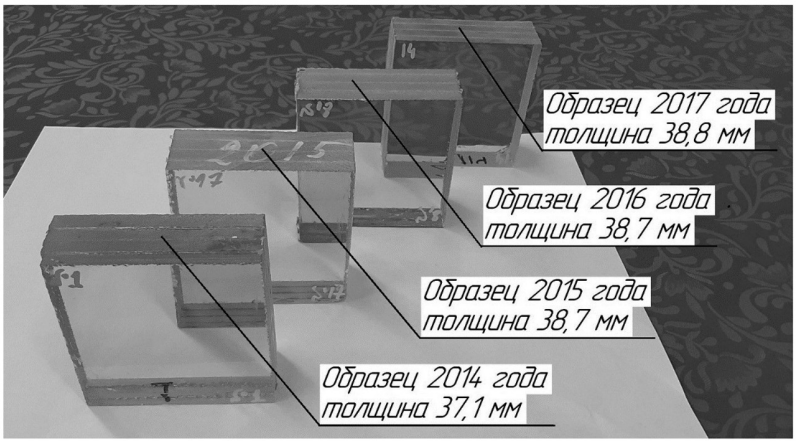

Рис. 2. Испытуемые образцы броневых стекол. Подготовлены в АО «НПО Спецматериалов»

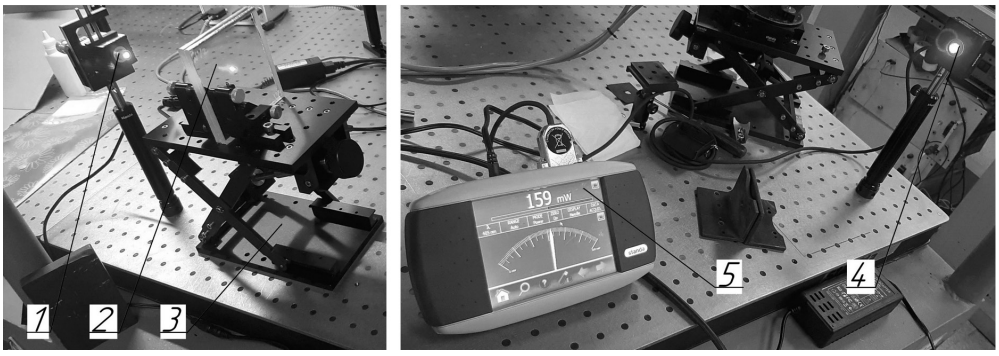

Рис. 3. Схема измерительной установки: 1 — лазерный источник излучения; 2 — испытуемый образец; 3 — регулируемый подъемный столик; 4 — измерительная головка детектора; 5 — измерительная панель

Таблица 1

Среднеквадратическое значение величины стабилизации энергетического потока лазерного излучения при работе в течение 1 минуты

Длина волны λ, нм	Энергетический поток Фλ, мВт	Среднеквадратическое значение стабилизации энергетического потока излучения WRMS, %
405	228,0	0,20
450	146,3	0,28
488	64,7	0,55
505	59,9	0,57
520	74,9	0,48
532	40,4	0,85
635	37,8	1,12
808	351,8	0,31

температуре 18–23 ºС и относительной влажности 45–30 % [9] в феврале 2021 года.

Результаты измерений на основе показаний измерительной панели обрабатывались посредством программы Microsoft Excel. Сперва для количества измерений $n = 3$ усреднялись значения энергетического потока прошедшего через образцы излучения Φ'_λ, мВт, по формуле

$$\overline{\Phi'_\lambda} = \frac{\sum_{i=1}^{n} \Phi'_\lambda}{n},$$

после чего были вычислены значения спектрального коэффициента пропускания τ_λ

$$\tau_\lambda = \frac{\overline{\Phi'}_\lambda}{\Phi_\lambda},$$

как соотношение энергетических потоков усредненного $\overline{\Phi'}_\lambda$, мВт к потоку излучения Φ_λ, мВт для каждого из образцов [10].

Далее были вычислены разностные величины изменения спектрального коэффициента пропускания по мере сравнения образцов по датам их изготовления. Изменение спектрального коэффициента пропускания в течение 1-го года считалось, как разница значений $\tau_{\lambda 2014} - \tau_{\lambda 2015}$, $\tau_{\lambda 2015} - \tau_{\lambda 2016}$, $\tau_{\lambda 2016} - \tau_{\lambda 2017}$, соответственно, изменение в течение 2-х лет, как $\tau_{\lambda 2014} - \tau_{\lambda 2016}$, $\tau_{\lambda 2015} - \tau_{\lambda 2017}$, изменение в течение 3-х лет, как $\tau_{\lambda 2014} - \tau_{\lambda 2017}$. Также, для трех значений изменения спектрального коэффициента пропускания в течение 1-го года и двух значений по изменению в течение 2-х лет вычислено среднее арифметическое значение. Результаты представлены в табл. 2. Суммарная погрешность измерений и вычислений изменения спектрального коэффициента пропускания составила не более 0,1 %.

По данным табл. 2 составлены диаграммы, показанные на рис. 4, 5. На рис. 4 видно, что кривые имеют явно выраженный минимум на длине волны 505 нм, что может свидетельствовать о селективности прозрачных клеев по отношению к потоку излучения в заданном спектральном диапазоне. Также, из-за отсутствия в наличии лазерных источников излучения в диапазоне от 532 до 635 нм и от 635 до 808 нм невозможно сказать о каких-либо еще особенностях селективного пропускания излучения.

Таблица 2

Зависимость изменения спектрального коэффициента пропускания от времени эксплуатации

Длина волны λ, нм	Изменение спектрального коэффициента пропускания $\Delta\tau_\lambda$, %		
	время эксплуатации *T*, лет		
	1	2	3
405	–2,92	–4,70	–8,76
450	–1,15	–1,60	–3,46
488	–0,50	–1,09	–1,50
505	–0,78	–1,49	–2,33
520	–0,70	–1,48	–2,10
532	–0,68	–1,24	–2,03
635	–0,42	–0,87	–1,25
808	–1,60	–2,91	–4,79

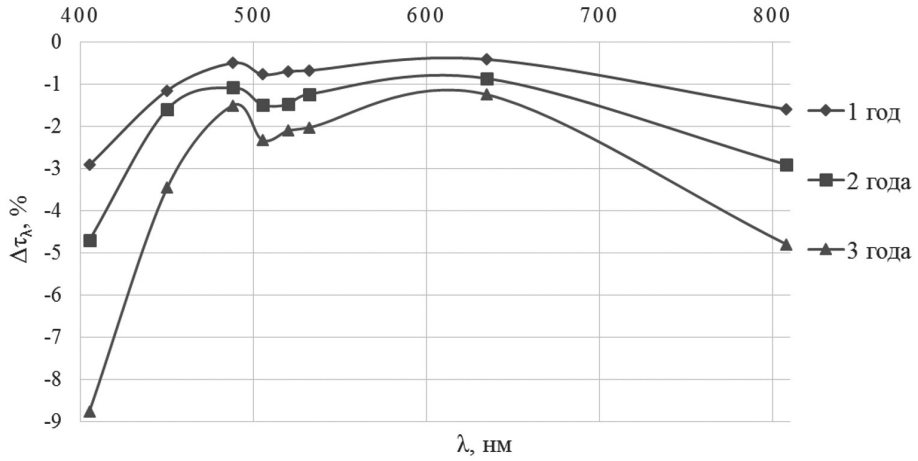

Рис. 4. Диаграмма графиков спектральной зависимости изменения коэффициента пропускания образцов броневых стекол класса защиты 3ХЛ от времени эксплуатации

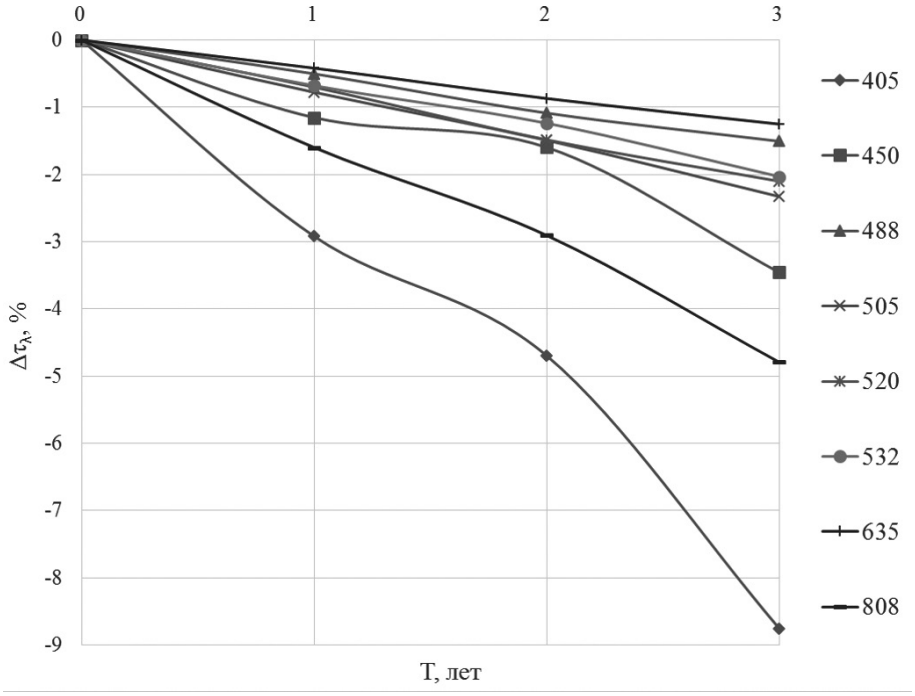

Рис. 5. Диаграмма графиков зависимости изменения спектрального коэффициента пропускания образцов броневых стекол класса защиты 3ХЛ от времени эксплуатации для отдельных длин волн

Согласно диаграмме, представленной на рис. 5, наиболее ярко проявляется изменение спектрального коэффициента пропускания для длин волн 405 и 808 нм, наименее заметно изменение для длин волн 488 и 635 нм. Такие характерные колебания значений изменения пропускания могут быть обусловлены совокупностью факторов, таких как погрешности показаний прибора, чистота поверхностей испытуемого образца, дефекты самих стекол (пузыри, свили, иные включения), вызывающих локальные поглощение, светорассеяние [11]. Немаловажными являются особенности хранения и эксплуатации стекол, так как временное воздействие различной степени влияния на изменение спектрального коэффициента пропускания может вызывать либо ускорение процесса, либо вовсе не влиять на эти изменения.

Выводы

Анализ результатов исследования показал наличие наиболее заметных участков изменения спектрального коэффициента пропускания в заданном спектральном диапазоне от 405 до 450 нм и от 750 до 808 нм.

Подтверждена целесообразность измерений в монохроматическом свете в ближнем УФ– и ИК–диапазонах лазерными источниками излучения, желательно с мощностями не превышающих 100 мВт для ближнего УФ–диапазона, и не более 1 Вт для ближнего ИК–диапазона.

Выявлено нелинейное убывание кривых изменения спектрального коэффициента пропускания от времени эксплуатации, выраженное индивидуально для выбранных длин волн лазерного излучения.

Литература

1. Качалов Н.Н. Стекло. — М.: Издательство Академии наук СССР. 1958. 465 с., ил.

2. Кобылкин И.Ф., Селиванов В.В. Материалы и структуры легкой бронезащиты // Учебник для вузов. — М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2014. С. 161.

3. Сабинин В.Е., Солк С.В. Проблемы проектирования и изготовления оптики из полимерных материалов // Оптический журнал. 2002. Т. 69. № 1. С. 61–64.

4. Черезова Е.Н., Мукаменева Н.А., Архиреев В.П. Старение и стабилизация полимеров // Учебное пособие, часть 1. — Казань: Издательство КНИТУ. 2012. 140 с.

5. Бобоев Т.Б., Гафуров С.Дж., Истамов Ф.Х. Исследование влияния УФ–облучения на скорость разрушения полимеров // Прикладная физика. 2020. № 5. 93 с.

6. Шевцов С.Е., Меркулов Ю.Ю., Солк С.В., Добряков Б.Н. Исследование зависимости оптических характеристик броневых стекол от времени их эксплуатации // Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. 2017. Вып. 11–12 (113–114). С. 58–62.

7. Меркулов Ю.Ю., Добряков Б.Н., Солк С.В., Шевцов С.Е. Проблемы обеспечения показателей качества броневых стёкол // Труды XIII Международной научно-практической конференции «Комплексная безопасность и физическая защита». 2017. С. 213–219.

8. ГОСТ Р 51136-2008 Стекла защитные многослойные. Общие технические условия. — М.: ИПК Изд–во стандартов. 2008. 28 с.

9. ГОСТ 30494-2011 Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях. — М.: Стандартинфром. 2019. 20 с.

10. Ландсберг Г.С. Оптика. Учеб. пособие: Для вузов. 6-е изд. — М: ФИЗМАТЛИТ. 2003. 848 с.

11. Справочник технолога–оптика / Под ред. М.А. Окатова. Изд. 2-е. — СПб: Политехника. 2004. 679 с.

References

1. Kachalov N.N. Glass. — Moscow. USSR Academy of Sciences Publ. 1958. 465 p., il.

2. Kobylkin I.F., Selivanov V.V. Light armor materials and structures. Textbook for universities. — Moscow. Publishing House of the Bauman MSTU. 2014. 161 p.

3. Sabinin V.E., Solk S.V. Problems of the design and fabrication of optics from polymeric materials. Optical Journal. 2002. Vol. 69. № 1. P. 61–64.

4. Cherezova E.N., Mukameneva N.A., Arkhireev V.P. Ageing and stabilization of polymers. Textbook. Volume 1. — Kazan: KNRTU Publ. 2012. 140 p.

5. Boboev T.B., Gafurov S.Dzh., Istamov F.Kh. Investigation of the effects of UV irradiation on the rate of polymer destruction. Applied Physics. 2020. № 5. 93 p.

6. Shevtsov S.Ye., Merkulov Yu.Yu., Solk S.V., Dobryakov B.N. Study on the dependence of optical characteristics of armored glasses on their operating time // Military Enginery. Issue 16. Counter-terrorism technical devices. 2017. № 11–12 (113–114). P. 58–62.

7. Merkulov Yu.Yu., Dobryakov B.N., Solk S.V., Shevtsov S.Ye. Issues of ensuring required quality parameters of armored glasses. Proceedings of the XIII International scientific-practical conference on integral security and physical protection. 2017. P. 213–219.

8. State Standard P51136-2008. Protective laminate glass. General specifications. — Moscow. IPK Izdatelstvo standartov Publ. 2008. 28 p.

9. State Standard 30494-2011. Residental and public buildings. Microclimate parameters for indoor enclosures. — Moscow, Standartinform Publ. 2019. 20 p.

10. Landsberg G.S. Optics. Textbook for universities. 6th Ed. — Moscow. FIZMATLIT Publ. 2003. 848 p.

11. Handbook of optical technologist. Ed. by M.A. Okatov. 2nd Ed. — Saint-Petersburg. Politekhnika Publ. 2004. 679 p.