

Научная статья
 УДК 69;539.1.075
<https://doi.org/10.24866/2227-6858/2025-3/79-84>

Физико-механические свойства радиационно-защитных покрытий

Василий Дмитриевич Черкасов^{1,2}, Владимир Иванович Римшин^{1,3,✉},
 Дмитрий Васильевич Черкасов^{1,2}

¹ Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН,
 Москва, Российская Федерация

² Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева,
 Саранск, Российская Федерация

³ Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет,
 Москва, Российская Федерация

✉ v.rimshin@niisf.ru

Аннотация. Самоклеящиеся радиационно-защитные покрытия, обладая высокими радиационно-защитными свойствами и радиационной стойкостью, должны иметь хорошую адгезионную прочность, гибкость. Приведены результаты исследования физико-механических свойств самоклеящихся радиационно-защитных покрытий. Установлено, что радиационно-защитные покрытия имеют высокую прочность связи с металлом при отслаивании (680–850 Н/м) и адгезию к бетону (0,16 Мпа), стеклу (0,25 Мпа), дюралюминию (0,21 Мпа). Покрытие имеет низкое водопоглощение (0,14–0,2%). При загибе покрытия по полуокружности (угол изгиба 180°) в нём не образуются трещины.

Ключевые слова: ионизирующее облучение, радиационно-защитное покрытие, адгезионная прочность, водопоглощение, гибкость

Для цитирования: Черкасов В.Д., Римшин В.И., Черкасов Д.В. Физико-механические свойства радиационно-защитных покрытий // Вестник Инженерной школы Дальневосточного федерального университета. 2025. № 3(64). С. 79–84.

Original article

Physico-mechanical properties of radiation-protective coatings

Vasily D. Cherkasov^{1,2}, Vladimir I. Rimshin^{1,3,✉}, Dmitry V. Cherkasov^{1,2}

¹ Research Institute of Building Physics RAASN, Moscow, Russian Federation

² National Research Mordovian State University named after N.P. Ogarev,
 Saransk, Russian Federation

³ National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russian Federation

✉ v.rimshin@niisf.ru

Abstract. Self-adhesive radiation-protective coatings, having high radiation-protective properties and radiation resistance, must have good adhesive strength and flexibility. The results of a study of the physico-mechanical properties of self-adhesive radiation-protective coatings are presented. It has been established that radiation-protective coatings have a high bond strength with metal upon peeling (680–850 N/m) and adhesion to concrete (0.16 Mpa), glass (0.25 Mpa), duralumin (0.21 Mpa). The coating has a low water absorption (0.14–0.2%). When the coating is bent in a semicircle (180° bending angle), cracks do not form in it.

Keywords: ionizing radiation, radiation-protective coating, adhesive strength, absorption, flexibility

For citation: Cherkasov V.D., Rimshin V.I., Cherkasov D.V. Physico-mechanical properties of radiation-protective coatings. *FEFU: School of Engineering Bulletin*, 2025, no. 3(64), pp. 79–84. (In Russ.).

Введение

В настоящее время окружающая среда постоянно подвергается воздействию ионизирующих облучений естественного фона и различных искусственных источников ионизирующих излучений [1]. В связи с этим возникла необходимость создания защиты от них [2, 3]. Защита от ионизирующих излучений предназначена для снижения плотности потока излучения до допустимого уровня и ниже. Это достигается увеличением расстояния от источника излучения, уменьшением времени пребывания в радиационных полях, снижением дозы излучения от источника [4]. Кроме этого, для защиты от радиации применяют радиационно-защитные материалы и экраны. Применение экранов ограничено небольшим выбором материалов для их устройства [4]. В настоящее время разработано большое количество радиационно-защитных материалов [5–18]. Существующие радиационно-защитные материалы обладают существенным недостатком – не могут быть быстро установлены и сняты. Для быстрого монтажа и демонтажа разработаны самоклеящиеся радиационно-защитные покрытия [19–22]. Эти материалы обладают высокими радиационно-защитными свойствами и радиационной стойкостью. Кроме этого, они должны обладать определёнными показателями физико-механических свойств. В связи с этим исследованы физико-механические свойства самоклеящихся радиационно-защитных покрытий. Результаты исследований этих свойств представлены в данной статье.

Материалы и методы

Для изготовления радиационно-защитных покрытий применяли следующие материалы: каучук СКЭПТ-50, индустриальное масло, алкилформальдегидная смола. В качестве наполнителей использовали барит, вольфрамовый и свинцовый порошки. Содержание наполнителя составляет 50% по объёму.

Прочность связи с металлом определяли в соответствии с ГОСТ 21981-76, адгезионную прочность к различным субстратам – по ГОСТ 209-75, гибкость материала – по ГОСТ EN 1109-2011.

Результаты и обсуждение

Качество радиационно-защитного покрытия определяется радиационно-защитными свойствами и прочностью связи с материалами, на которые он наклеивается. В связи с этим была определена прочность связи с металлом и адгезионная прочность с бетоном, дюралюминием, сталью и стеклом (рис. 1, 2).

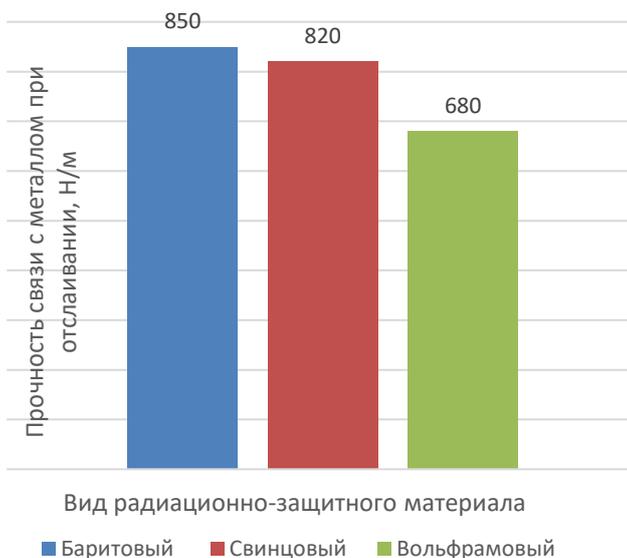


Рис. 1. Прочность связи с металлом при отслаивании

Fig. 1. Bond strength to metal during peeling

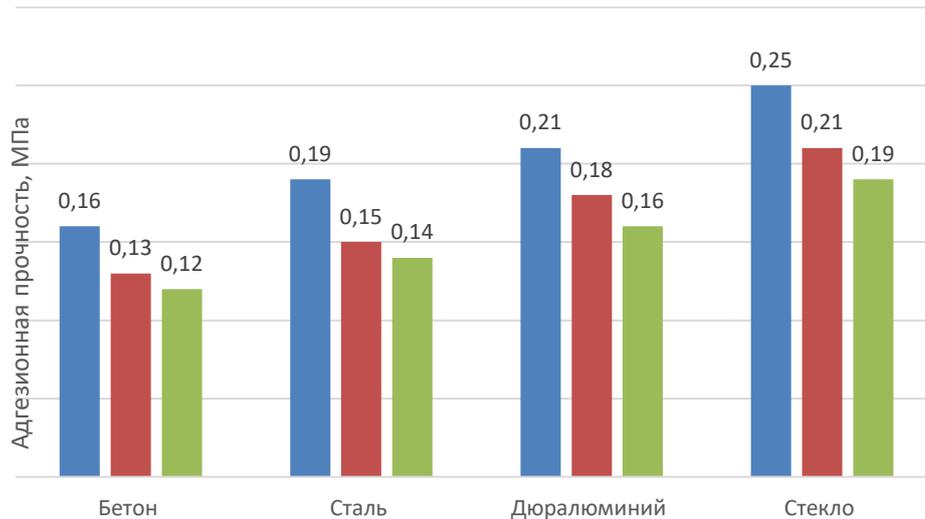


Рис. 2. Адгезионная прочность радиационно-защитных покрытий с наполнителями барит, вольфрам, свинец к бетону, стали, дюралюминию и стеклу

Fig. 2. Adhesive strength of radiation-protective coatings with fillers barite, tungsten, lead to concrete, steel, duralumin and glass

Из рис. 1, 2 видно, что наибольшую адгезионную прочность имеет баритовый радиационно-защитный материал. Введение в состав материала металлических наполнителей (вольфрам, свинец) незначительно снижает адгезионную прочность. В целом, самоклеящиеся радиационно-защитные материалы обладают высокой адгезионной прочностью, что обеспечит их надёжное закрепление на различных материалах.

При закреплении радиационно-защитного материала на поверхностях сложной формы в нём не должны образовываться трещины. В связи с этим проводились испытания материала на гибкость. Испытания показали, что в нём не образуются трещины. Эксплуатационным показателем материала является водопоглощение. Приведённые исследования показали, что радиационно-защитные материалы обладают низким водопоглощением (рис. 3).

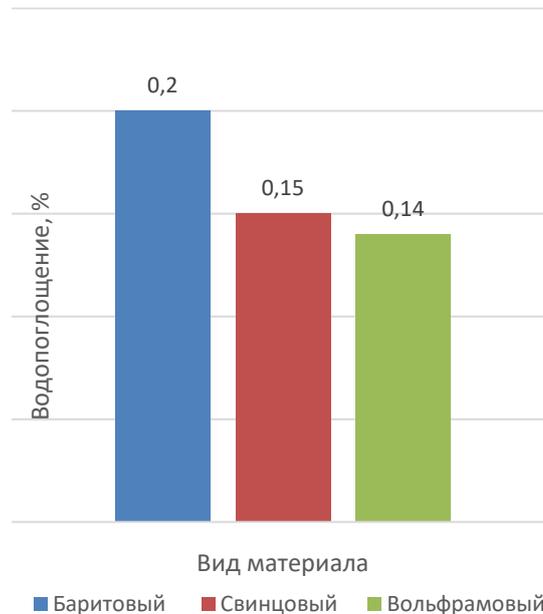


Рис. 3. Водопоглощение радиационно-защитных материалов

Fig. 3. Water absorption of radiation-protective materials

Низкое водопоглощение радиационно-защитных материалов свидетельствует о том, что они обладают гидроизолирующими свойствами.

Заключение

По результатам проведённого исследования можно сделать следующие выводы:

1. Радиационно-защитные покрытия обладают высокой адгезионной прочностью, что обеспечит надёжное закрепление их на различных конструкциях.
2. Эластичные самоклеящиеся радиационно-защитные покрытия можно наклеивать на поверхности любой сложной формы без образования в них трещин.
3. Покрытия обладают гидроизолирующими свойствами.

ВКЛАД АВТОРОВ | CONTRIBUTION OF THE AUTHORS

В.Д. Черкасов – развитие методологии, написание исходного текста, итоговые выводы; В.И. Римшин – научное руководство, концепция исследования; Д.В. Черкасов – участие в подготовке и проведении физических экспериментов. Все авторы ознакомились с результатами и одобрили окончательный вариант рукописи.

V.D. Cherkasov – development of methodology, writing of the source text, final conclusions; V.I. Rimshin – scientific supervision, research concept; D.V. Cherkasov – participation in the preparation and conduct of physical experiments. All authors reviewed the results and approved the final version of the manuscript.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ | DISCLOSURE

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
The authors declare no conflict of interest.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Гулабянц Л.А., Калайдо А.В. Противорадоновая защита жилых и общественных зданий: Монография, под ред. Шубина И.Л. Москва; Берлин: Директ-Медиа, 2020. 232 с.
2. Бакаева Н.В., Калайдо А.В. Экспериментальные исследования факторов, формирующих радиационный фон зданий // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2015. № 4(12). С. 20–27.
3. Романович И.К. Природные источники ионизирующего излучения: дозы облучения, радиационные риски, профилактические мероприятия / ФБУН НИИРГ им. П.В. Рамзаева [Романович И.К., Стамат И.П., Кормановская Т.А., Кононенко Д.В. и др.]; под редакцией академика РАН Г.Г. Онищенко и профессора А.Ю. Поповой. Санкт-Петербург: ФБУН НИИРГ им. П.В. Рамзаева, 2018. 432 с.
4. Ташлыков О.А., Щеклеин С.Е., Хомяков А.П. Расчетно-экспериментальное исследование гомогенных защит от гамма-излучения // Ядерная и радиационная безопасность. 2015. № 3. С. 1–8.
5. Римшин В.И., Калайдо А.В., Семенова М.Н., Борщ В.А. Строительные технологии обеспечения радонобезопасности зданий // Строительные материалы. 2023. № 6. С. 33–38. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2023-814-6-33-38>
6. Павленко В.И., Ястребинский Р.Н. Полимерные радиационно-защитные композиты. Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2009. 219 с.
7. Бормотов А.Н., Прошин А.П., Баженова Ю.М. [и др.] Полимерные композиционные материалы для защиты от радиации. М.: Палеотип, 2006. 272 с.
8. Павленко В.И., Соколенко И.В., Носков А.В. Композиционный материал нового типа для комплексной защиты // Химия и химические технологии. 2015. Вып. 6, т. 58. С. 66–69.
9. Павленко В.И., Бондаренко Г.Г., Черкашина Н.И. Разработка нейтронно-защитных полимерных композитов на основе тонкомолотого гидроксида титана // Перспективные материалы. 2016. № 7. С. 16–21.
10. Микаева С.А., Микаева А.С., Бойчук М.И. Защитное покрытие для источников излучения // Автоматизация. Современные технологии. 2016. № 7. С. 34–36.
11. Ambika M.R., Nagaiah N. Gamma shielding ability and chemical stability of polyester-based polymer composites // Indian Journal of Advances in Chemical Science. 2017. Vol. S2. P. 23–27.
12. Badawy S.M., Abd El-Latif A. Synthesis and characterisations of magnetite nanocomposite films for radiation shielding // Polymer Composites. 2017. Vol. 38(5). P. 974–980.
13. Belgin E.E., Aycik G.A. A novel metal oxide filled polyethylene based composite shielding material for protection from harmful effects of ionizing electromagnetic radiation // ISITES-2014. 2014. P. 1194–1201.

14. Dubey K., Chaudhari C., Suman S. [et al.]. Synthesis of flexible polymeric shielding materials for soft gamma rays: Physicomechanical and attenuation characteristics of radiation crosslinked polydimethylsiloxane/Bi₂O₃ composite // *Polymer Composites*. 2014. Vol. 37(3). P. 756–762.
15. Li R., Gu Y., Wang Y. [et al.]. Effect of particle size on gamma radiation shielding property of gadolinium oxide dispersed epoxy resin matrix composite // *Mater. Res. Express*. 2017. Vol. 4. P. 1–10.
16. Güngör A., Flexible X., Akbay I.K. [et al.]. Gamma ray shielding composite material of EPDM rubber with bismuth trioxide: Mechanical, thermal investigations and attenuation tests // *Progress in Nuclear Energy*. 2018. Vol. 106. P. 262–269.
17. Kaplan M.F. *Concrete radiation shielding*. New York: Publ. house: John Wiley & Sons, 1989.
18. Kharita M.H., Yousef S., Nassar M.A.I. Review on the addition of boron compounds to radiation shielding concrete // *Prog. Nucl. Energy*. 2011. Vol. 53. P. 207–211.
19. Римшин В.И., Черкасов В.Д., Черкасов Д.В., Савин В.К. Самоклеящиеся эластичные радиационно-защитные покрытия // *Строительные материалы*. 2024. № 8. С. 56–62.
20. Черкасов В.Д., Римшин В.И., Харченко И.Я., Черкасов Д.В. Влияние толщины радиационно-защитного покрытия на кратность ослабления излучения // *Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Материалы. Конструкции. Технологии*. 2024. Вып. 2, № 30. С. 17–24.
21. Черкасов В.Д., Авдонин В.В., Юркин Ю.В., Пильщиков В.О. Самоклеящиеся радиационно-защитные покрытия // *Региональная архитектура и строительство*. 2019. № 4(41). С. 20–27.
22. Черкасов В.Д., Римшин В.И., Черкасов Д.В. Влияние структуры радиационно-защитного материала на его радиационную стойкость // *Промышленное и гражданское строительство*. 2025. № 1. С. 42–47.

REFERENCES

1. Gulabyants L.A., Kalaido A.V. *Anti-riot protection of residential and public buildings: Monograph*, ed. I.L. Shubina. Moscow; Berlin: Direct-Media, 2020. 232 p. (In Russ.).
2. Bakayeva N.V., Kalaido A.V. Experimental studies of the factors forming the radiation background of buildings. *Biospheric Compatibility: Man, Region, Technology*, 2015, no. 4 (12), pp. 20–27. (In Russ.).
3. Romanovich I.K. Natural sources of ionizing radiation: radiation doses, radiation risks, preventive measures / FBUN NIIRG named after P.V. Ramzaev [Romanovich I.K., Stamat I.P., Kormanovskaya T.A., Kononenko D.V. et al.]; edited by Academician of the Russian Academy of Sciences G.G. Onishchenko and Professor A. Y. Popova. St. Petersburg: P.V. Ramzaev Research Institute of Economics, 2018. 432 p. (In Russ.).
4. Tashlykov O.A., Shcheklein S.E., Khomyakov A.P. Computational and experimental study of homogeneous protection from gamma radiation. *Nuclear and Radiation Safety*, 2015, no. 3, pp. 1–8. (In Russ.).
5. Rimshin V.I., Kalaido A.V., Semenova M.N., Borsch V.A. Construction technologies for ensuring radon safety of buildings. *Building Materials*, 2023, no. 6, pp. 33–38. – DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2023-814-6-33-38> (In Russ.).
6. Pavlenko V.I., Yastrebinsky R.N. *Polymer radiation-protective composites*. Belgorod: BSTU named after V.G. Shukhov, 2009. 219 p. (In Russ.).
7. Bormotov A.N., Proshin A.P., Bazhenova Yu.M. [et al.] *Polymer composite materials for radiation protection*. Moscow: Paleotype, 2006. 272 p. (In Russ.).
8. Pavlenko V.I., Sokolenko I.V., Noskov A.V. Composite material of a new type for complex protection. *Chemistry and Chemical Technologies*, 2015, iss. 6, vol. 58, pp. 66–69. (In Russ.).
9. Pavlenko V.I., Bondarenko G.G., Cherkashina N.I. Development of neutron-protective polymer composites based on finely ground titanium hydride. *Promising Materials*, 2016, no. 7, pp. 16–21. (In Russ.).
10. Mikaeva S.A., Mikaeva A.S., Boychuk M.I. Protective coating for radiation sources. *Automation. Modern Technologies*, 2016, no. 7, pp. 34–36. (In Russ.).
11. Ambika M.R., Nagaiah N. Gamma shielding ability and chemical stability of polyester-based polymer composites. *Indian Journal of Advances in Chemical Science*, 2017, vol. S2, pp. 23–27.
12. Badawy S.M., Abd El-Latif A. Synthesis and characterisations of magnetite nanocomposite films for radiation shielding. *Polymer Composites*, 2017, vol. 38(5), pp. 974–980.
13. Belgin E.E., Aycik G.A. A novel metal oxide filled polyethylene based composite shielding material for protection from harmful effects of ionizing electromagnetic radiation. *ISITES-2014*, 2014, pp. 1194–1201.

14. Dubey K., Chaudhari C., Suman S. [et al.]. Synthesis of flexible polymeric shielding materials for soft gamma rays: Physicomechanical and attenuation characteristics of radiation crosslinked polydimethylsiloxane/Bi₂O₃ composite. *Polymer Composites*, 2014, vol. 37(3), pp. 756–762.
15. Li R., Gu Y., Wang Y. [et al.]. Effect of particle size on gamma radiation shielding property of gadolinium oxide dispersed epoxy resin matrix composite. *Mater. Res. Express.*, 2017, vol. 4, pp. 1–10.
16. Güngör A., Flexible X., Akbay I.K. [et al.]. Gamma ray shielding composite material of EPDM rubber with bismuth trioxide: Mechanical, thermal investigations and attenuation tests. *Progress in Nuclear Energy*, 2018, vol. 106, pp. 262–269.
17. Kaplan M.F. Concrete radiation shielding. Newyork: Publ. house: John Wiley & Sons, 1989.
18. Kharita M.H., Yousef S., Nassar M.A.I. Review on the addition of boron compounds to radiation shielding concrete. *Prog. Nucl. Energy*, 2011, vol. 53, pp. 207–211.
19. Rimshin V.I., Cherkasov V.D., Cherkasov D.V., Savin V.K. Self-adhesive elastic radiation protective coatings. *Building Materials*, 2024, no. 8, pp. 56–62. (In Russ.).
20. Cherkasov V.D., Rimshin V.I., Kharchenko I.Ya., Cherkasov D.V. The influence of the thickness of the radiation protective coating on the frequency of radiation attenuation. *Bulletin of the Volga State Technological University. Series: Materials. Constructions. Technologies*, 2024, iss. 2, no. 30, pp. 17–24. (In Russ.).
21. Cherkasov V.D., Avdonin V.V., Yurkin Yu.V., Pilshchikov V.O. Self-adhesive radiation protective coatings. *Regional Architecture and Construction*, 2019, no. 4(41), pp. 20–27. (In Russ.).
22. Cherkasov V.D., Rimshin V.I., Cherkasov D.V. Influence of the structure of radiation-protective material on its radiation resistance. *Industrial and Civil Engineering*, 2025, no. 1, pp. 42–47. (In Russ.).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ | INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Черкасов Василий Дмитриевич – доктор технических наук, профессор, Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН (Москва, Российская Федерация); Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева (Саранск, Российская Федерация),

✉ vd-cherkasov@yandex.ru, <http://orcid.org/0000-0002-0662-6595>

Vasily D. Cherkasov, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Scientific Research Institute of Building Physics RAACS (Moscow, Russian Federation); Ogarev National Research Mordovian State University (Saransk, Russian Federation).

Римшин Владимир Иванович – доктор технических наук, профессор, Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН (Москва, Российская Федерация); Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (Москва, Российская Федерация),

✉ v.rimshin@niisf.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9084-4105>

Vladimir I. Rimshin, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Scientific Research Institute of Building Physics RAACS (Moscow, Russian Federation); National Research Moscow State University of Civil Engineering (Moscow, Russian Federation).

Черкасов Дмитрий Васильевич – кандидат технических наук, Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН (Москва, Российская Федерация); Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева (Саранск, Российская Федерация),

✉ dv-cherkasov@yandex.ru

Dmitry V. Cherkasov, Candidate of Engineering Sciences, Scientific Research Institute of Building Physics RAACS (Moscow, Russian Federation); Ogarev National Research Mordovian State University (Saransk, Russian Federation).

Статья поступила в редакцию / Received: 12.05.2025.

Доработана после рецензирования / Revised: 08.09.2025.

Принята к публикации / Accepted: 24.09.2025.