

Научная статья
УДК 621.317.785:544.543

ПРИМЕНЕНИЕ КРАСИТЕЛЕЙ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПЛЕНОЧНЫХ ДОЗИМЕТРОВ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Никита Семенович Штабнов¹, Виктор Гаврилович Бурындин²,
Алексей Евгеньевич Шкуро³

¹⁻³ Уральский государственный лесотехнический университет,
Екатеринбург, Россия

¹ lol_hukutos@mail.ru

² buryndinv@gmail.usfeu.ru

³ shkuroae@m.usfeu.ru

Аннотация. В работе рассмотрены теоретические основы химической дозиметрии ионизирующего излучения, показана роль красителей. Приведены требования, предъявляемые к красителям, применяемым для изготовления пленочных дозиметров, содержащих краситель.

Ключевые слова: дозиметрия, ионизирующее излучение, пленочные дозиметры, красители, радиационный отклик, оптическая плотность

Для цитирования: Штабнов Н. С., Бурындин В. Г., Шкуро А. Е. Применение красителей для изготовления пленочных дозиметров ионизирующего излучения // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России = Scientific creativity of youth to the forest complex of Russia : материалы XXII Всероссийской (национальной) научно-технической конференции студентов и аспирантов. Екатеринбург : УГЛТУ, 2026. С. 1124–1128.

Original article

APPLICATION OF DYES FOR THE MANUFACTURING OF FILM DOSIMETERS OF IONIZING RADIATION

Nikita S. Shtabnov¹, Viktor G. Buryndin², Alexey E. Shkuro³

¹⁻³ Ural State Forest Engineering University, Ekaterinburg, Russia

¹ lol_hukutos@mail.ru

² buryndinv@gmail.usfeu.ru

³ shkuroae@m.usfeu.ru

Abstract. This research examines the theoretical foundations of chemical dosimetry of ionizing radiation and demonstrates the role of dyes. Requirements for dyes used for the production of film dye-containing dosimeters are presented.

Keywords: dosimetry, ionizing radiation, film dye-containing dosimeters, dyes, radiation response, optical density

For citation: Shtabnov N. S., Buryndin V. G., Shkuro A. E. (2026) Prime-nenie krasitelej dlya izgotovleniya plenochny`x dozimetrov ioniziruyushhego izlucheniya [Application of dyes for the manufacturing of film dosimeters of ion-izing radiation]. Nauchnoe tvorchestvo molodezhi – lesnomu kompleksu Rossii [Scientific creativity of youth to the forest complex of Russia] : materials of the XXII All-Russian (national) Scientific and Technical Conference of undergradu-ate and postgraduate students. Ekaterinburg : USFEU, 2026. P. 1124–1128. (In Russ).

Химическая дозиметрия основана на регистрации дозы по результатам радиационно-химических превращений в специально подобранной системе, где под действием ионизирующего излучения изменяется состав, кислотно-основные свойства или оптические характеристики среды. В отличие от ионизационных и сцинтилляционных детекторов, здесь измеряемой величиной служит не мгновенный сигнал от отдельных частиц, а интеграль-ный химический отклик, сформированный за время облучения. Такой под-ход особенно удобен в тех областях, где необходима интеграция дозы за длительный период, регистрация больших доз или контроль в сложной геометрии [1, 2].

Красительсодержащие дозиметры представляют собой особый под-класс химических систем, в которых регистрируемым параметром является изменение оптической плотности или цвета раствора, геля или пленки, обу-словленное радиационно-химическими процессами, протекающими с уча-стием красителя или радиационно-образованных ионов металлов. Такой тип отклика позволяет использовать стандартную спектрофотометрию, фото-электрические колориметры и плоские сканеры для количественной оценки дозы, а также реализовать пленочные и трехмерные (гелевые) дозиметры с высоким пространственным разрешением [1–3].

Пленочные красительсодержащие системы оказались особенно востре-бованы при дозиметрии высоких доз γ - и электронного излучения в про-мышленности, а также при исследовании импульсных пучков электронов большой мощности, где традиционные ферросульфатные растворы испыты-вают проблемы насыщения и радиоллиза растворителя. В таких условиях тонкая пленка с включенным красителем, обесцвечивающимся или окраши-вающимся под действием излучения, дает удобный стационарный индика-тор дозы, устойчивый к механическим воздействиям и удобный для хране-ния [1].

Примеры пленочных красительсодержащих дозиметров на основе аце-тата целлюлозы и различных концентраций красителя «Родамин 6G» пред-ставлены на рисунке.



Пленочные дозиметры на основе ацетата целлюлозы и красителя «Родамин 6G»

В основе работы красительсодержащего дозиметра лежат радиационно-химические процессы в матрице и/или растворе, приводящие к изменению концентрации окрашенной формы красителя либо комплексного соединения «металл – краситель». Ионизирующее излучение, проходя через среду, вызывает ионизацию и возбуждение молекул растворителя и матрицы; дальнейший распад возбужденных состояний и ионов формирует набор первичных активных частиц (радикалы, ион-радикалы, возбужденные молекулы), которые реагируют с красителем или другими компонентами системы. В зависимости от строения красителя, возможны реакции восстановления (обесцвечивание), окисления (появление окраски у лейкоформы), протонирования, разрыва или восстановления π -сопряжения [4].

Для пленочных дозиметров существенную роль играет распределение энергии по толщине слоя: в зависимости от энергии γ -квантов или электронов, плотности и состава матрицы, профиль поглощенной дозы может быть близким к равномерному или иметь выраженный градиент. При дозиметрии β -излучения особенно важны малая толщина и однородность пленки, поскольку пробег β -частиц в органических материалах ограничен сотнями микрон и вариации толщины напрямую влияют на величину сигнала. Это накладывает дополнительные требования к технологии изготовления и контролю толщины пленочных красительсодержащих дозиметров.

К красителям, предназначенным для дозиметрии, предъявляется ряд требований, сформировавшихся на основе многолетней практики применения пленочных и растворных химических дозиметров. Во-первых, изменение оптической плотности должно быть однозначной функцией дозы. Для

практики удобно, когда в интересующем диапазоне ΔD или логарифмическая функция от D подчиняется линейной зависимости от дозы, что упрощает калибровку и интерпретацию результатов. Сложные нелинейные и «ломанные» дозокривые затрудняют применение дозиметра в нормативных измерениях.

Во-вторых, краситель и его радиационно-индуцированная форма должны быть химически и фотохимически стабильными в течение всего времени хранения и измерения. Самопроизвольное выцветание, потемнение или фотодеструкция под действием видимого света приводят к дрейфу нуля и искажению дозозависимости. Для целлофановых и пленок PVV с красителями отмечена необходимость хранения в темноте и при контролируемой температуре, поскольку даже слабое рассеянное освещение способно за часы изменить оптические характеристики [1].

В-третьих, матрица (целлюлозная, поливиниловая, полиуретановая, гелевая) должна обеспечивать равномерное распределение красителя и остальных компонентов, отсутствие фазового расслоения, минимальную диффузию активных видов (для гелей) и воспроизводимую толщину. Неоднородности в составе и толщине слоя вызывают локальные вариации чувствительности, что особенно критично при применении дозиметра как двумерного или трехмерного «карты» дозы [2]. Для разработанных в работе [4] радиохромных пленок подчеркивается необходимость стабильной технологии литья и контроля толщины пленок по оптическим и механическим критериям.

Дополнительным требованием является минимальная чувствительность к температуре, влажности и кислороду либо возможность учета этих влияний через поправочные коэффициенты. Для пленочных систем, используемых в условиях промышленной обработки, важны также механическая прочность, гибкость, устойчивость к изгибу и удобство обращения [3, 5].

Таким образом, создание надежных пленочных дозиметров требует комплексного подхода, учитывающего свойства красителя и технологию изготовления матрицы для обеспечения точных и воспроизводимых измерений.

Список источников

1. Пикаев А. К. Дозиметрия в радиационной химии. М. : Наука, 1975. 312 с.
2. Пикаев А. К. Химические методы дозиметрии импульсного электронного излучения // Успехи химии. 1972. Т. 41, № 5. С. 861–901.
3. Кособуцкий В. С., Свердлов Р. Л. Научные принципы и методы радиометрии и дозиметрии (спецпрактикум). Минск : БГУ, 2022. 268 с.
4. Пикаев А. К., Кабакчи С. А. Радиационная способность первичных продуктов радиолiza воды : справочник. М. : Энергоиздат, 1982. 200 с.

5. Третинников О. Н., Кожемякин Л. А., Баранова Н. А. Радиохромные пленки поливиниловый спирт/фосфорновольфрамовая кислота для измерения высоких доз ионизирующих излучений // Взаимодействие излучений с твердым телом. Минск : ИФ НАН Беларуси, 2021. С. 275–279