

УДК 674.419

**С. Б. Шишкина, И. В. Яцун, Ю. И. Ветошкин, С. В. Совина**  
Уральский государственный лесотехнический университет

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСЛОВНОГО КОЭФФИЦИЕНТА ЗАЩИТЫ  
ЛАКОКРАСОЧНОЙ КОМПОЗИЦИИ СО СПЕЦИФИЧЕСКИМИ  
СВОЙСТВАМИ МЕТОДОМ ОЦЕНКИ РЕЗУЛЬТАТОВ  
ЦИФРОВОЙ РЕНТГЕНОГРАФИИ**

Разработана лакокрасочная композиция с защитными свойствами от рентгеновского излучения для комплексной отделки специализированных помещений в учреждениях здравоохранения, имеющая также высокие показатели технико-эксплуатационных и эстетических свойств. Различные варианты состава наносились на древесную подложку и были высушены естественным способом. Образцы покрытий на основе данной композиции прошли проверку на цифровом аппарате рентгеновской диагностики экстра-класса «Пульмоскан-760У» («Унискан») при различных показателях мощности облучения.

Были получены цифровые изображения, требующие оценки наличия защитных свойств у образцов и их численных значений для определения состава, обладающего максимальными показателями защиты по сравнению со свинцовой пластиной (толщиной 0,3 мм) и просвинцованной резиной (толщиной 3 мм). Предложен метод оценки показателей защитных свойств композиции при различной толщине покрытия на древесной подложке и трех фиксированных значений мощности напряжения в рентгеновской установке. Разработана методика расчета условного коэффициента защиты, позволяющая произвести сравнение с известными значениями свинцового эквивалента.

**Ключевые слова:** защитный материал, защитные свойства, условный коэффициент защиты, цифровая рентгенография, растровые изображения, оценка защитных свойств материала.

**S. B. Shiskina, I. V. Yatsun, Y. I. Vetoshkin, S. V. Sovina**  
Ural State Forest Engineering University

**DETERMINATION OF CONDITIONAL PROTECTION FACTOR  
OF PAINT COMPOSITION WITH SPECIFIC PROPERTIES  
BY METHOD ASSESSMENT RESULTS OF DIGITAL RADIOGRAPHY**

Was developed a paint composition with protective properties against X-ray radiation for complex finishing of specialized health care facilities, which also has high levels of technical, and operational and aesthetic properties. Various composition applied to wood substrate and were dried in a natural way. Coatings of samples based on this composition variants were tested on a digital X-ray diagnostics device of extraclass "Pulmoskan-760U" ("Uniscan") at different irradiation rates.

Digital images were obtained, which require availability assessment of protective properties of the samples and their numerical values to determine the composition, which has the highest rates of protection compared to a lead plate (0.3 mm thick) and lead rubber (3 mm thick). Method for estimating parameters of protective properties of the composition at different thickness of coatings on wood substrate and three fixed values of the power voltage in the X-ray unit was-proposed. Calculating technique of the conditional protection factor was developed, allowing to make a comparison with the known values of lead equivalent.

**Keywords:** protective material, protective properties, nominal protection factor, digital radiography, bitmaps, evaluation of the protective properties of the material.

**Введение.** Широкая область применения ионизирующих излучений в медицине, промышленности и научных исследованиях, а также жесткие требования к радиационной безопасности делают разработку радиационно-защитных материалов перспективным направлением. При использовании на практике рентгеновских лучей применяется защита, выполненная в виде различных защитных материалов [1]. Кафедрой механической обработки

древесины разработан ряд конструкционных материалов с защитными свойствами от ионизирующих излучений для комплексной отделки специализированных помещений [2]. Данная группа материалов не обладает всем комплексом эксплуатационных свойств, необходимых для ее использования в помещениях данного типа и нуждается в дополнительной отделке. Лакокрасочные материалы должны не только обладать защитными свойствами, но и иметь

высокие показатели адгезии к поверхностям, безусадочное высыхание, исключаящее образование трещин, и отвечать эстетическим требованиям. Перечисленным условиям удовлетворяет рентгенозащитная лакокрасочная композиция (ЛКК), состоящая из полимерного связующего и природного минерального наполнителя.

Оценка наличия защитных свойств того или иного материала традиционно сводится к расчету коэффициента линейного ослабления и сравнения показателя со свинцовым эквивалентом. Данный способ достаточно трудоемок для композиционных составов с большим количеством компонентов, иногда расчет становится просто невозможным из-за отсутствия данных о веществе. В таком случае проводится сравнительная оценка рентгеновских снимков с применением электрических фотоблескомеров [3]. При проведении замеров пропускной способности рентгеновского снимка исследуемого образца необходимо учитывать погрешность качества пленочного материала, погрешность прибора и фиксации измерений, требуются большой временной диапазон для проведения замеров и затраты на пленку для снимков. Кроме того, пленочные рентгеновские аппараты морально устарели и постепенно выходят из оборота как в медицинских, так и в диагностических учреждениях.

Таким образом, возникла необходимость разработать метод оценки цифровых изображений для определения показателей защитных свойств рентгенозащитной композиции.

**Основная часть.** Большинство современных рентгеновских установок являются цифровыми и, в отличие от аналоговых аппаратов, формируют результаты сканирования в виде цифрового растрового изображения, на котором цветовой оттенок изменяется в зависимости от пропускной способности спроецированного участка исследуемого объекта. Изображения ахроматических цветов формируются по следующему принципу: чем больше количество поглощенных объектом лучей, тем светлее участок изображения, соответствующий этому объекту.

Цифровые растровые изображения представляют собой матрицу элементарных единиц – пикселей, каждый из которых обладает собственным цветом. Растровое изображение может состоять из нескольких миллионов пикселей, благодаря чему исчезает дискретное восприятие изображения. Цвет каждого пикселя определяется одним числом или набором чисел в зависимости от выбранного

цветового режима палитры. Цветовые режимы характеризуются компонентными цветами (каналами) и глубиной цвета. При смешении компонентных цветов в различных пропорциях образуется множество всех оттенков цветов палитры. Глубина цветового режима определяет количество оттенков компонентного цвета и задается в битах. Например, цветовой режим RGB (24 бита) состоит из трех компонентных цветов (красный, зеленый, синий) с глубиной цвета каждого канала – 8 бит ( $2^8 = 256$ ), т. е. каждый канал содержит по 256 оттенков цвета.

Ахроматические изображения с целью уменьшения размера файла формируются на основании одноканальных цветовых режимов с различной глубиной цвета, которая в данном случае определяет светлоту серого цвета. Данный цветовой режим имеет название «оттенки серого» (grayscale).

Определяя значение глубины цвета каждого конкретного пикселя и оценивая светлоту различных областей изображения можно определять относительное изменение интенсивности (кратность ослабления) рентгеновских лучей при прохождении через объект.

Степень ослабления в таком случае будет определяться по формуле:

$$K_{\text{осл}} = \frac{(2^D - 1) - d_{\text{ф}}}{(2^D - 1) - d_{\text{об}}},$$

где  $D$  – глубина канала изображения, бит;  $d_{\text{ф}}$  – значение глубины цвета фона, т. е. участка прямого воздействия;  $d_{\text{об}}$  – значение глубины цвета участка соответствующего объекту.

Количество оттенков серого меняется в зависимости от глубины канала и может быть равно:

8 бит (1 байт) – 256;

12 бит – 4096;

14 бит – 16 386;

16 бит (2 байта) – 65536.

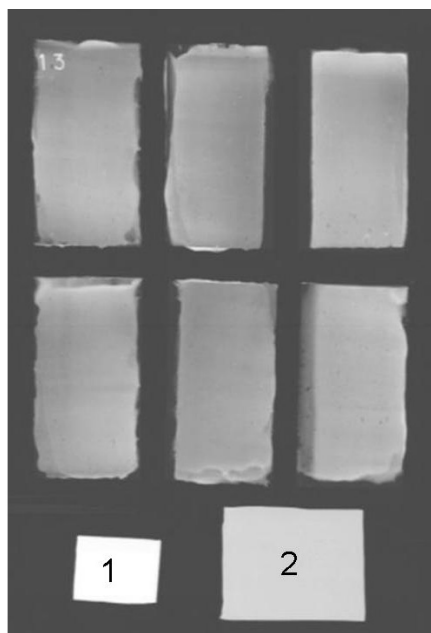
Поскольку единицей измерения информации является 1 байт, на практике используются каналы с глубиной 8 бит (1 байт) и 16 бит (2 байта). От глубины канала в первую очередь зависит точность измерений, так для канала 8 бит (256 цветов) погрешность измерения составит 0,2%; для канала 16 бит (65536 цветов) – 0,00076%.

Необходимо отметить, что на пути преобразования энергии фотонов излучения в конкретные значения глубины цвета пикселя изображения происходит множество физических процессов, которые могут вызвать искажение результатов (ошибки аналого-цифрового

преобразования, скрытые дефекты исследуемого объекта, дефекты матрицы дозиметра и т. д.). Поэтому для уменьшения погрешности эксперимента в целом, необходимо измерять среднее арифметическое значение глубины цвета массива пикселей, которые принадлежат к определенной области изображения.

Опыт проведения подобного анализа показывает, что различные снимки, выполненные в одинаковых условиях, имеют отличие цветового оттенка одних и тех же участков в пределах 1–2%, поэтому нежелательно сравнивать результаты измерений, полученные с разных снимков.

Это особенно важно при определении эквивалентов по ослаблению относительно других материалов (чаще всего определяют свинцовый эквивалент). В этом случае эталонные образцы должны присутствовать на каждом снимке (рисунки).



Расположение образцов и эталонов на снимке:  
1 – свинцовая пластина,  
2 – просвинцованная резина

На практике определение значения глубины цвета может быть реализовано средствами любого языка программирования, однако существует ряд графических редакторов изображений, в которых уже реализована данная функция в виде инструмента «Пипетка» (eyedropper). Наиболее удобными для этих целей являются такие программные продукты как Corel Photo-Paint, Adobe Photoshop, Corel Paint Shop Pro.

В ходе эксперимента по определению показателей защитных свойств лакокрасочной композиции на основе природного минерального наполнителя и полимерного связующего были разработаны 14 вариантов составов композиции согласно трехфакторному плану ВЗ. Затем на пластины из фанеры размером 45×90 мм с помощью шпателя и трафарета каждый состав был нанесен трижды с толщиной защитного слоя 1, 2 и 3 мм. Таким образом, было получено 42 образца. Покрытие формировалось атмосферной сушкой в течение 48 часов. Высушенные образцы просвечивались на цифровой рентгенографической системе «ПУЛЬМО-СКАН-760У» с различной величиной анодного напряжения: 50, 75 и 100 кВ и при величине экспозиции 0,02 [4].

Полученные рентгенограммы обрабатывались на ЭВМ. При этом на снимке каждого образца выполнялось по три измерения в различных, равномерно распределенных областях, результаты которых были приняты за дублированные опыты. Кроме того, определялся цвет фона, подложки и эталонных образцов свинца и просвинцованной резины [5].

На основании полученных данных, рассчитанных по формуле (в соответствии с ГОСТ 51532-99), определялась степень ослабления каждого образца в трех областях в сравнении со степенью ослабления сегмента просвинцованной резины и пластины из свинца. Результаты измерений и вычислений представлены в таблице.

**Заключение.** Используя метод оценки цифровых изображений, были определены защитные свойства лакокрасочной композиции на основе природного минерала и полимерного связующего в сравнении со свинцовой пластиной толщиной 0,3 мм.

Предварительные опыты показали, что лакокрасочная композиция на основе природного минерала имеет высокие показатели защитных свойств при мощности излучения в диапазоне 50–100 кВ (рис. 2). Применение покрытий на ее основе позволит завершить комплексную отделку помещений специального назначения, а именно улучшить показатели ослабляющих свойств уже используемых в этих целях материалов и эстетические свойства стеновых панелей, экранов, ширм, дверей и т. д.

К достоинствам данного вида оценки цифровых изображений относится более высокая скорость обработки, возможность автоматизации процесса программными средствами ЭВМ, а также отсутствие необходимости использования специального оборудования для обработки пленочных снимков.

## Результаты замеров и расчетов защитных свойств образцов при E = 100 кВ

Толщина покрытия	№ состава	Анодное напряжение 100 кВ												
		глубина цветового оттенка						степень ослабления						
		подл-ки	фона	образцов			свинц. резины	свинца	образцов			ср. знач.	свинца 0,3 мм	свинц. резины 3 мм
1 мм	1	73	68	91	88	86	254	209	1,11	1,09	1,08	1,09	4,07	187,00
	2	73	68	130	144	134	254	209	1,46	1,64	1,50	1,53	4,07	187,00
	3	81	74	130	128	123	254	212	1,39	1,37	1,32	1,36	4,21	181,00
	4	81	74	152	144	145	254	212	1,69	1,57	1,58	1,61	4,21	181,00
	5	79	74	129	125	132	254	212	1,40	1,35	1,43	1,39	4,21	181,00
	6	79	74	159	152	166	254	212	1,83	1,71	1,98	1,84	4,21	181,00
	7	85	80	131	141	133	254	214	1,37	1,49	1,39	1,42	4,27	175,00
	8	85	80	143	133	141	254	214	1,52	1,39	1,49	1,47	4,27	175,00
	9	78	73	125	124	118	254	211	1,36	1,35	1,29	1,33	4,14	182,00
	10	78	73	164	165	168	254	211	1,95	1,97	2,03	1,98	4,14	182,00
	11	84	79	168	173	173	254	214	1,97	2,09	2,09	2,05	4,29	176,00
	12	84	79	143	146	157	254	214	1,53	1,57	1,74	1,61	4,29	176,00
	13	79	74	175	174	182	254	212	2,20	2,17	2,41	2,26	4,21	181,00
	14	79	74	161	166	169	254	212	1,87	1,98	2,05	1,97	4,21	181,00
2 мм	1	73	68	124	121	123	254	209	1,39	1,36	1,38	1,38	4,07	187,00
	2	73	68	181	185	180	254	209	2,46	2,60	2,43	2,50	4,07	187,00
	3	81	74	130	133	138	254	212	1,39	1,43	1,49	1,44	4,21	181,00
	4	81	74	149	152	161	254	212	1,64	1,69	1,85	1,73	4,21	181,00
	5	79	74	161	153	150	254	212	1,87	1,73	1,68	1,76	4,21	181,00
	6	79	74	175	171	161	254	212	2,20	2,10	1,87	2,06	4,21	181,00
	7	85	80	142	135	137	254	214	1,50	1,42	1,44	1,45	4,27	175,00
	8	85	80	173	164	158	254	214	2,07	1,87	1,75	1,90	4,27	175,00
	9	78	73	139	133	136	254	211	1,53	1,45	1,49	1,49	4,14	182,00
	10	78	73	183	180	187	254	211	2,46	2,36	2,60	2,47	4,14	182,00
	11	84	79	174	172	167	254	214	2,11	2,06	1,94	2,04	4,29	176,00
	12	84	79	164	173	165	254	214	1,88	2,09	1,90	1,95	4,29	176,00
	13	79	74	159	155	161	254	212	1,83	1,76	1,87	1,82	4,21	181,00
	14	79	74	151	160	164	254	212	1,69	1,85	1,93	1,83	4,21	181,00
3 мм	1	73	68	117	127	116	254	209	1,32	1,42	1,31	1,35	4,07	187,00
	2	73	68	180	184	179	254	209	2,43	2,56	2,39	2,46	4,07	187,00
	3	81	74	156	165	157	254	212	1,76	1,93	1,78	1,82	4,21	181,00
	4	81	74	194	183	186	254	212	2,85	2,42	2,52	2,60	4,21	181,00
	5	79	74	159	148	143	254	212	1,83	1,64	1,57	1,68	4,21	181,00
	6	79	74	169	168	166	254	212	2,05	2,02	1,98	2,02	4,21	181,00
	7	85	80	170	169	165	254	214	2,00	1,98	1,89	1,96	4,27	175,00
	8	85	80	185	183	188	254	214	2,43	2,36	2,54	2,44	4,27	175,00
	9	78	73	170	168	157	254	211	2,08	2,03	1,81	1,97	4,14	182,00
	10	78	73	203	196	196	254	211	3,40	3,00	3,00	3,13	4,14	182,00
	11	84	79	189	193	194	254	214	2,59	2,76	2,80	2,72	4,29	176,00
	12	84	79	168	173	178	254	214	1,97	2,09	2,22	2,09	4,29	176,00
	13	79	74	170	171	182	254	212	2,07	2,10	2,41	2,19	4,21	181,00
	14	79	74	181	177	178	254	212	2,38	2,26	2,29	2,31	4,21	181,00

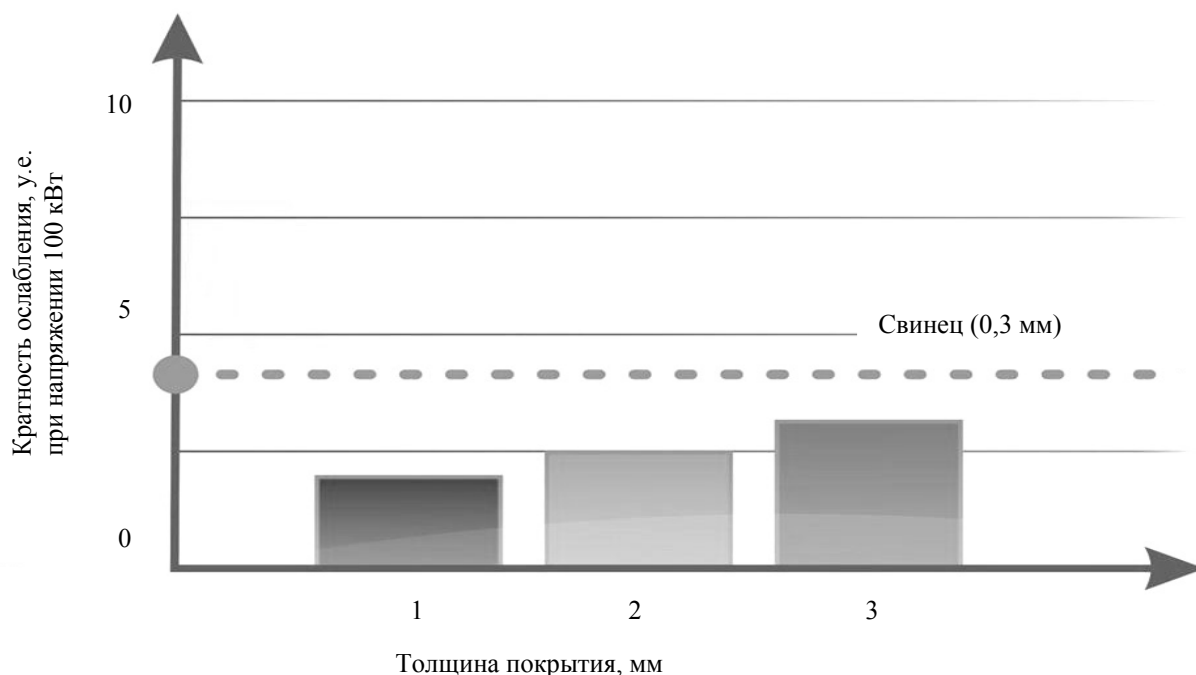


Рис. 2. Зависимость показателей защитных свойств при напряжении  $E = 100$  кВ.

### Литература

1. Аглинцев К. К. Дозиметрия ионизирующих излучений. М.: Техничко-техническая литература, 1957. 503 с.
2. Ветошкин Ю. И., Яцун И. В., Чернышев О. Н. Конструкции и эксплуатационно-технологические особенности композиционных рентгенозащитных материалов на основе древесины: моногр. Екатеринбург, УГЛТУ, 2009. 148 с.
3. Карякина М. И. Лабораторный практикум по техническому анализу и контролю производств лакокрасочных материалов и покрытий. М.: Химия, 1989. 168 с.
4. Шитиков Б. Д. Техничко-эксплуатационные возможности и клиническое применение диагностической цифровой рентгенографической системы «Пульмоскан-760У» («Унискан»). Инструкция по применению. Минск, 2002. 38 с.
5. Шишкина С. Б. Определение защитных свойств от рентгеновского излучения лакокрасочной композицией на основе природного минерала // *Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века: труды евразийского симпозиума*. Екатеринбург, 2010. С. 141–144.

### References

1. Aglintsev K. K. *Dosimetriya ioniziruyushchikh izlucheniy* [Dosimetry of ionizing radiation]. Moscow, Tekhniko-tekhnicheskaya literature Publ., 1957. 503 p.
2. Vetoshkin Yu. I., Yatsun I. V., Chernyshev O. N. *Konstruksii i ekspluatatsionno-tekhnologicheskie osobennosti kompozitsionnykh rentgenozashchitnykh materialov na osnove drevesiny: monogr.* [Design and operational and technology of composite materials on the basis of x-ray timber: monograph]. Ekaterinburg, USFEU, 2009. 148 p.
3. Karyakina M. I. *Laboratornyy praktikum po tekhnicheskomu analizu i kontrolyu proizvodstv lakokrasochnykh materialov i pokrytiy* [Laboratory workshop on technical analysis and control of production of paints and coatings]. Moscow, Khimiya Publ., 1989. 168 p.
4. Shitikov B. D. *Tekhniko-ekspluatatsionnye vozmozhnosti i klinicheskoe primeneniye diagnosticheskoy tsifrovoy rentgenograficheskoy sistemy «Pul'moskan-760U» («Uniskan»)*. *Instruktsiya po primeneniyu* [Technical and operational capabilities and clinical application of diagnostic digital radiographic system "Pulmoskan – 760U" ("Uniskan"). Instructions for use]. Minsk, 2002. 38 p.
5. Shishkina S. B. [Determination of the protective properties of the X-ray -based paint composition of natural mineral]. *Derevoobrabotka: tekhnologii, oborudovanie, menedzhment XXI veka: trudy evraziyskogo simpoziuma* [Woodworking: technologies, equipment, management of the XXI Century: Proceedings of the Eurasian Symposium]. Shishkina S. B. – Ekaterinburg, 2010, pp. 141–144 (in Russian).

### Информация об авторах

**Шишкина Светлана Борисовна** – старший преподаватель кафедры механической обработки древесины. Уральский государственный лесотехнический университет (620100, г. Екатеринбург, ул. Сибирский тракт, 37, Российская Федерация). E-mail: shesveta.81@mail.ru.

**Яцун Ирина Валерьевна** – кандидат технических наук, доцент кафедры Механической обработки древесины. Уральский государственный лесотехнический университет (620100, г. Екатеринбург, ул. Сибирский тракт, 37, Российская Федерация). E-mail: iryatsun@mail.ru.

**Ветошкин Юрий Иванович** – кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры Механической обработки древесины. Уральский государственный лесотехнический университет (620100, г. Екатеринбург, ул. Сибирский тракт, 37, Российская Федерация). E-mail: uivetoshkin@mail.ru.

**Совина Светлана Валентиновна** – кандидат технических наук, доцент кафедры Механической обработки древесины. Уральский государственный лесотехнический университет (620100, г. Екатеринбург, ул. Сибирский тракт, 37, Российская Федерация). E-mail: sovinasv@e1.ru.

### Information about the authors

**Shishkina Svetlana Borisovna** – senior Lecturer, Department of Machining of wood, Ural State Forest Engineering University (37, st. Siberian path, 620100, Yekaterinburg, Russian Federation). E-mail: shesveta.81@mail.ru.

**Yatsun Irina Valeryevna** – Ph. D. Engineering, assistant professor, Department of Machining of wood, Ural State Forest Engineering University (37, st. Siberian path, 620100, Yekaterinburg, Russian Federation). E-mail: iryatsun@mail.ru.

**Vetoshkin Yury Ivanovich** – Ph. D. Engineering, assistant professor, professor Department of Machining of wood, Ural State Forest Engineering University (37, st. Siberian path, 620100, Yekaterinburg, Russian Federation). E-mail: uivetoshkin@mail.ru.

**Sovina Svetlana Valentinovna** – Ph. D. Engineering, assistant professor, Department of Machining of wood, Ural State Forest Engineering University (37, st. Siberian path, 620100, Yekaterinburg, Russian Federation). E-mail: sovinasv@e1.ru.

*Поступила 23.02.2015 г.*