

Динамический и статистический анализ параметров цвета в штрихах реквизитов документов в принятой цветовой модели

Ситников Б.В., Веневцев А.Н.

В основе используемой методики определения «возраста» штрихов реквизитов документов по динамике выцветания лежит факт существования закономерности [1] изменения соотношений цветовых параметров красящих веществ штрихов реквизитов во времени, описывающей процесс выцветания цветовых штрихов реквизита документа, которую математически можно описать в виде уравнения степенной функции. Указанный факт позволяет на основании двух и более серий цветовых измерений (в данном случае спектрофотометрических) через определенные интервалы времени построить математическую модель процесса изменения отношений получаемых величин параметров от времени и, далее, с использованием модельных расчетов, определить «возраст» штрихов исследуемого объекта.

В 2017 и 2018 годах с привлечением специалистов Липецкого государственного технического университета и Воронежского государственного университета с целью подтверждения наличия устойчивой зависимости изменения цветовых характеристик штриха во времени, а также прецизионности спектрофотометрических измерений и расчетов (степень близости друг к другу независимых результатов измерений, полученных в конкретных регламентированных условиях), проводился широкий спектр экспериментальных исследований в отношении штрихов различных типов материалов письма при следующих условиях. Производились вырезки из штрихов фиксированных размеров с известным временем нанесения, которые экстрагировались в растворителе (метанол); с целью определения координат цвета, полного цветового различия, различия в светлоте указанных штрихов, проводились спектрофотометрические измерения оптической плотности проб в диапазоне от 380 до 730 нм с использованием спектрофотометра СФ-2000 с шагом 10 нм; после чего вычислялись цветовые координаты $L^*a^*b^*$, полное цветовое различие ΔE и различие в светлоте ΔL , соотношение ΔE , L и ΔL . Вычисление величин цветовых координат и цветового различия производилось в соответствии с ГОСТ Р 52489-2005 (ISO 7724-1:1984) и ГОСТ 32278-2013 [2,3].

В данной работе оценивалась зависимость произведений получаемых величин цветовых параметров вырезок штрихов рукописных объектов различных материалов письма $\Delta E \times L$ от времени их нанесения с учетом различных вариантов «объемов вырезки» и проведения в определенный момент времени «агрессивного воздействия» (УФ, высокая температура) на объект. При этом ультрафиолетовое воздействие на штрихи оказывалось в течение 2 часов непрерывно с использованием УФ-излучателя модели ОББ лампа Light Tech LTC15T8, высота под уровнем излучателя 15 см; высокотемпературное воздействие оказывалось в течение 2 часов непрерывно в сушильном шкафу при температуре 120°C.

Для обеспечения устойчивости и надежности оценки полученных результатов, исследования по каждой группе объектов проводились по двадцати одному исследуемому дню, причем в дни 1-20 измерения производились пятикратно, а в промежуток между 10 и 11 днями так же пятикратно исследовались два штриха, один из которых подвергался агрессивному термическому воздействию, а другой – агрессивному световому воздействию; при этом для каждой группы объектов

использовались три штриха фиксированных размеров – 3 мм; 4 мм; 5 мм. При этом после штрихов, подвергшихся внешним агрессивным воздействиям, исследования приостанавливались на срок более 7 месяцев, после чего, начиная с 11-го дня, они возобновлялись с использованием штрихов, не подвергавшимся внешним агрессивным воздействиям.

Расчет координат цвета и координат цветности производился по формулам в соответствии с требованиями [2,3]. Для определения прецизионности проводимых измерений, данные измерения и расчеты проводились в пяти повторах, степень прецизионности измерений по каждой группе объектов определялась в соответствии с ГОСТ Р ИСО 5725-2002. Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений; ГОСТ Р 50779.10-2000. Статистические методы. Вероятность и основы статистики. Термины и определения [4]. Полученные значения заносились в таблицы 1-7.

Результаты проведенных исследований можно проиллюстрировать на примере штриха пасты шариковой ручки EaStar ES 612 MC сине-фиолетового цвета длиной 5 мм (см. табл. 1,2; рис. 1,2)

Таблица №1

День исследования	Время со дня нанесения штриха (сут)	Цветовые характеристики	Лаборатория №1 (длина вырезки штриха 5 мм)				
			№ повтора измерения				
			1	2	3	4	5
1	1,9	L*	94,864	94,862	94,851	94,874	94,846
		ΔE^*	9,845	9,904	9,876	9,922	9,976
2	5,9	L*	95,242	95,281	95,290	95,251	95,151
		ΔE^*	9,133	9,174	9,166	9,251	9,275
3	8,9	L*	94,259	94,244	94,196	94,199	94,292
		ΔE^*	10,133	10,214	10,167	10,198	10,042
4	13,0	L*	94,092	94,147	94,179	94,156	94,153
		ΔE^*	11,438	11,415	11,384	11,402	11,431
5	15,9	L*	93,126	93,226	93,077	93,467	93,264
		ΔE^*	10,897	10,950	10,973	10,854	10,858
6	19,9	L*	93,607	93,534	93,586	93,446	93,558
		ΔE^*	11,472	11,541	11,493	11,654	11,597
7	22,9	L*	95,606	95,650	95,667	95,673	95,605
		ΔE^*	8,225	8,129	8,117	8,064	8,171
8	27,0	L*	94,607	94,627	94,532	94,516	94,505
		ΔE^*	9,855	9,743	9,891	9,873	9,827
9	30,0	L*	94,555	94,511	94,559	94,563	94,508
		ΔE^*	10,571	10,654	10,572	10,495	10,634
10	33,9	L*	94,867	94,845	94,867	94,878	94,901
		ΔE^*	9,673	9,723	9,532	9,626	9,531
11	272,0	L*	93,722	93,752	93,78	93,653	93,707
		ΔE^*	12,026	11,975	11,918	11,994	12,028
12	275,0	L*	93,338	93,312	93,394	93,321	93,393
		ΔE^*	11,733	11,728	11,725	11,751	11,644
13	279,0	L*	94,177	94,230	94,209	94,205	94,122
		ΔE^*	11,320	11,229	11,271	11,236	11,395
14	296,1	L*	93,370	93,372	93,151	93,399	93,399
		ΔE^*	8,957	8,888	9,082	8,996	8,842
15	303,0	L*	93,884	93,915	93,904	93,924	93,766
		ΔE^*	10,183	10,251	10,315	10,229	10,250
16	310,0	L*	93,229	93,288	93,280	93,424	93,354
		ΔE^*	11,342	11,241	11,239	11,343	11,326
17	317,0	L*	93,660	93,704	93,646	93,747	93,671
		ΔE^*	11,342	11,241	11,239	11,343	11,326
18	324,1	L*	94,081	94,062	94,034	94,087	94,087
		ΔE^*	11,590	11,636	11,684	11,602	11,566
19	331,2	L*	93,368	93,420	93,543	93,536	93,456
		ΔE^*	11,590	11,636	11,684	11,602	11,566
20	342,0	L*	94,076	94,024	94,065	94,006	94,075

		ΔE^*	11,124	11,167	11,028	11,103	11,149
T^0	35,1	L^*	95,230	95,263	95,289	95,250	95,310
		ΔE^*	8,602	8,567	8,633	8,631	8,574
УФ	35,1	L^*	94,415	94,139	94,127	94,481	94,453
		ΔE^*	9,144	9,166	9,164	9,084	9,095

Табл.1. Данные величины полного цветового различия ΔE^* и цветового параметра L^* цветовой модели $L^*a^*b^*$, полученные в результате спектральных измерений пробы вырезок штрихов пасты шариковой ручки EaStar ES 612 MC сине-фиолетового цвета длиной 5 мм в зависимости от времени исследования (измерения проводились в пяти повторях).

Таблица №2

№ опыта	Давность нанесения штриха (сут)	$Lg_{T_i} (\Delta E^* \times L)$					
		№ повтора измерения					
		1	2	3	4	5	среднее
1	1,9	10,81667	10,82605	10,82140	10,82904	10,83726	10,82608
2	5,9	3,81729	3,82006	3,81961	3,82456	3,82545	3,82139
3	8,9	3,14182	3,14541	3,14305	3,14448	3,13785	3,14252
4	13,0	2,72489	2,72435	2,72340	2,72394	2,72492	2,72430
5	15,9	2,50144	2,50361	2,50379	2,50133	2,50070	2,50217
6	19,9	2,33222	2,33397	2,33277	2,33690	2,33567	2,33430
7	22,9	2,12818	2,12459	2,12415	2,12209	2,12607	2,12502
8	27,0	2,07458	2,07118	2,07542	2,07483	2,07339	2,07388
9	30,0	2,03112	2,03328	2,03116	2,02903	2,03271	2,03146
10	33,9	1,93580	1,93721	1,93163	1,93445	1,93173	1,93416
11	372,0	1,25358	1,25289	1,25208	1,25298	1,25359	1,25302
12	275,0	1,24604	1,24592	1,24602	1,24629	1,24479	1,24581
13	279,0	1,23807	1,23674	1,23736	1,23681	1,23914	1,23763
14	296,1	1,18248	1,18114	1,18450	1,18330	1,18027	1,18234
15	303,0	1,20108	1,20231	1,20338	1,20195	1,20201	1,20215
16	310,0	1,21386	1,21236	1,21236	1,21424	1,21385	1,21338
17	317,0	1,20090	1,20041	1,20180	1,20225	1,20278	1,20163
18	324,1	1,20990	1,21054	1,21121	1,21008	1,20954	1,21025
19	331,2	1,19699	1,19775	1,19582	1,19697	1,19754	1,19701
20	342,0	1,19650	1,19873	1,19771	1,19881	1,9760	1,19787
T	35,1	1,88478	1,88373	1,88595	1,88577	1,88410	1,88487
УФ	35,1	1,89953	1,89937	1,89928	1,89786	1,89813	1,89883

Табл. 2. Данные о величинах зависимости $Lg_{T_i} (\Delta E^* \times L^*)$ штриха пасты шариковой ручки EaStar ES 612 MC сине-фиолетового цвета длиной 5 мм от времени исследования (измерения проводились в пяти повторях).

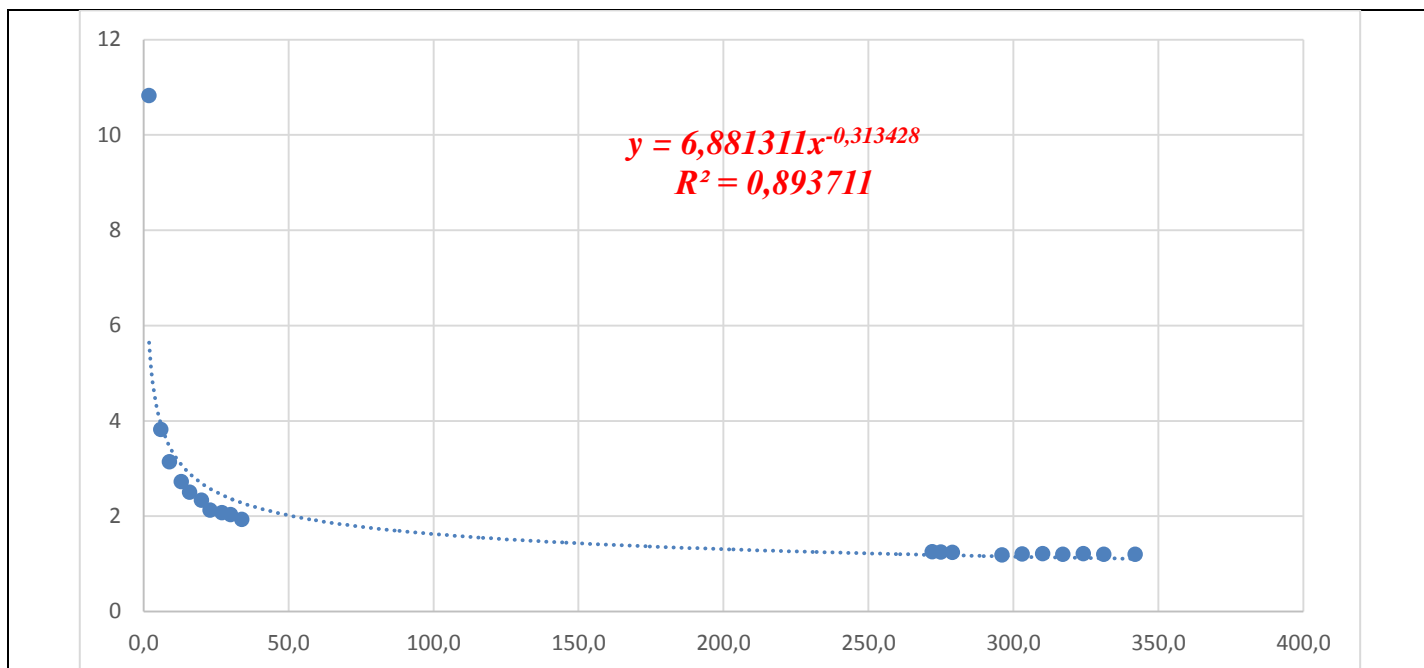


Рис.1. Графическое выражение алгоритма зависимости параметров цвета вида $Lg\tau$, $(\Delta E^* \times L^*)$ штриха пасты шариковой ручки EaStar ES 612 MC сине-фиолетового цвета длиной 5 мм от времени исследования без учета проб, подвергшихся агрессивному воздействию; где по оси абсцисс отложено время исследования, по оси ординат – величина логарифма по основанию времени исследования отношения полного цветового различия к светлоте цветовых характеристик экстрактов вырезок штриха $\Delta E^* \times L^*$.

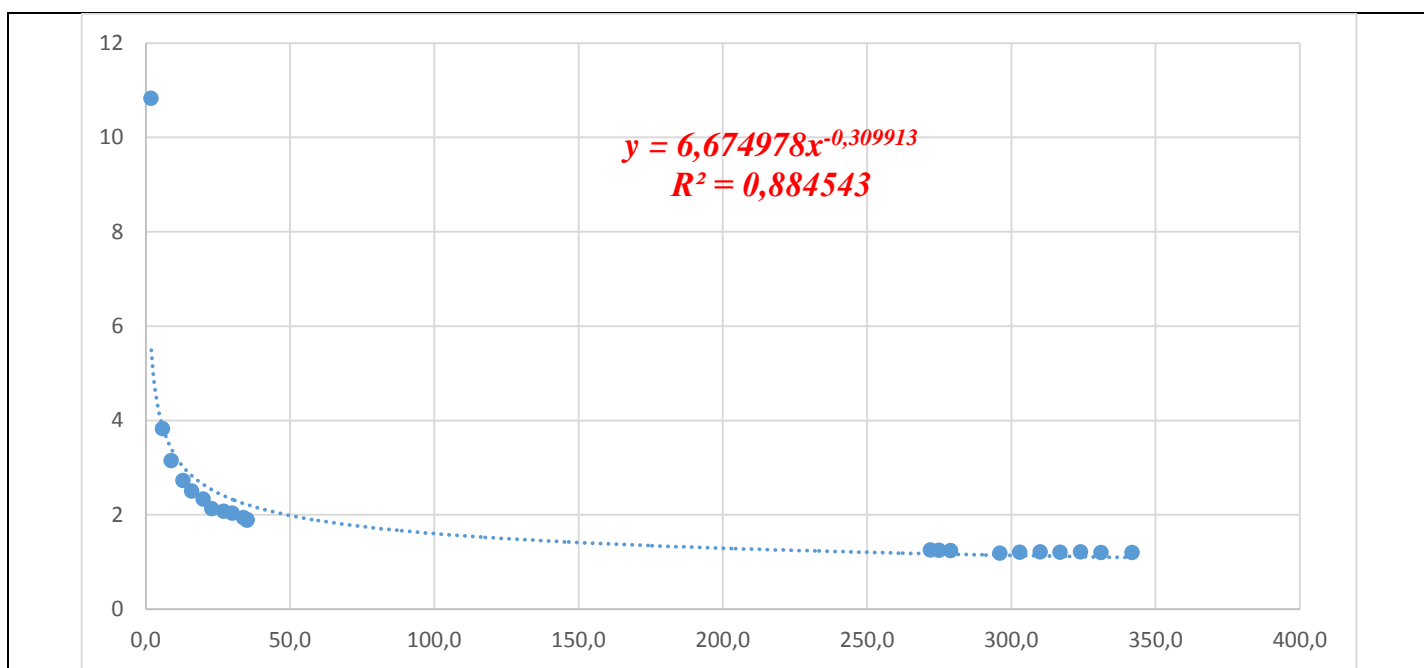


Рис. 2. Графическое выражение алгоритма зависимости параметров цвета вида $Lg\tau$, $(\Delta E^* \times L^*)$ штриха пасты шариковой ручки EaStar ES 612 MC сине-фиолетового цвета длиной 5 мм от времени исследования с учетом проб, подвергшихся агрессивному воздействию (УФ и высокотемпературному); где по оси абсцисс отложено время исследования (τ), а по оси ординат – величина логарифма по основанию времени исследования отношения полного цветового различия к светлоте цветовых характеристик экстрактов вырезок штриха $\Delta E^* \times L^*$.

Для изучения прецизионности и воспроизводимости проводимых измерений, согласно ГОСТ 5725-2-2002, использовались следующие статистические межлабораторные критерии Граббса и Манделя, которые предназначены для обработки межлабораторных расхождений результатов измерений при соответствующем уровне значимости 1-5%. Данные по результатам проведенных исследований сведены в таблицы 3-5.

Для каждого конкретного исследуемого уровня выборочные средние, полученные для всех лабораторий, используют для вычисления единственного общего выборочного среднего. Это значение затем используют для вычисления h-статистики Мандела. Используемая статистика определена в ИСО 5725-2 [4] и представляет собой отношение разности среднего для конкретного набора данных и среднего всех наборов данных и стандартного отклонения средних по всем наборам данных. Полученное значение затем наносят на график и сравнивают с вычисленными табулированными значениями отношения для 95% и 99 % уровней значимости.

Таблица №3

День исследования	ΔE^*						L^*					
	№№ лаборатории / (длина вырезки)						№№ лаборатории / (длина вырезки)					
	1 (5 мм)	выброс	2 (4 мм)	выброс	3 (3 мм)	выброс	1 (5 мм)	выброс	2 (4 мм)	выброс	3 (3 мм)	выброс
1	-1,14352	—	0,71058	—	0,43294	—	-1,14457	—	-0,70444	—	-0,44013	—
2	-0,04375	—	-0,97740	—	1,02116	—	-0,00884	—	1,00439	—	-0,99555	—
3	-0,87947	—	-0,20826	—	1,08773	—	0,74651	—	0,38966	—	-1,12617	—
4	-0,59028	—	-0,56433	—	1,15460	—	0,67214	—	0,47706	—	-1,14919	—
5	0,55913	—	-0,59538	—	1,15451	—	-0,46340	—	1,14764	—	-0,68424	—
6	-0,52946	—	-0,62395	—	1,15341	—	0,90851	—	0,16296	—	-1,07147	—
7	0,14612	—	-1,06502	—	0,91890	—	0,23997	—	0,85818	—	-1,09815	—
8	-0,90275	—	-0,17216	—	1,07490	—	0,62705	—	0,52619	—	-1,15323	+
9	-0,83308	—	-0,27590	—	1,10899	—	0,78770	—	0,33735	—	-1,12505	—
10	-0,73145	—	-0,40805	—	1,13950	—	0,50242	—	0,64927	—	-1,15159	+
11	-0,18414	—	-0,89513	—	1,07927	—	0,07046	—	0,96291	—	-1,03336	—
12	-0,59847	—	-0,55597	—	1,15444	—	0,40449	—	0,73439	—	-1,13888	—
13	-0,40018	—	-0,73793	—	1,13812	—	0,49663	—	0,65447	—	-1,15110	+
14	-1,11978	—	0,31582	—	0,80396	—	-0,80061	—	1,12091	—	-0,32029	—
15	-0,97228	—	-0,05331	—	1,02559	—	0,28865	—	0,82392	—	-1,11258	—
16	-0,82121	—	-0,29240	—	1,11361	—	0,37945	—	0,75474	—	-1,13419	—
17	-0,39490	—	-0,74225	—	1,13715	—	0,29396	—	0,82007	—	-1,11403	—
18	0,17321	—	-1,07529	—	-0,90208	—	1,14660	—	-0,45506	—	-0,69154	—
19	-1,05749	—	0,12692	—	0,93048	—	0,88915	—	0,19344	—	-1,08259	—
20	-0,85182	—	-0,24922	—	1,10104	—	1,03117	—	-0,06557	—	-0,96560	—
T°	-0,52324	—	-0,62982	—	1,15306	—	0,39025	—	0,74604	—	-1,13628	—
УФ	-0,65048	—	-0,50099	—	1,15147	—	-0,11383	—	1,05205	—	-0,93821	—

Критическое значение для критерия Мандела (h)	99%	95%
	1.150	

Приложение: Отсутствие выброса обозначается "—"; наличие выброса обозначается "+";

Табл. 3. Данные оценки воспроизводимости цветового параметра L^* и величины цветового различия ΔE^* с использованием межлабораторного критерия Мандела (h) штриха пасты шариковой ручки EaStar ES 612 MC сине-фиолетового цвета полученных от трех лабораторий 1-3 (длины вырезов штрихов 5, 4, 3 мм, соответственно) от времени исследования (измерения проводились в пяти повторях).

Обработка выбросов описана в ИСО 5725-2 [4], пункты 7.1-7.3. В качестве выброса рассматривают результат, который достаточно сильно отличается от всех других результатов, используемых для дальнейших исследований. В зависимости от типа распределения, которому принадлежат результаты наблюдений, результат, который кажется выбросом, в действительности может им не быть (ИСО 5725-2 [4], пункты 7.3.2.1 и 7.3.3.2, рекомендует уровни доверия 95% для выбросов, которые называют «квазивыбросом», и 99 % для выбросов, которые называют

«статистическими выбросами»). Для конкретных обстоятельств выбор 95 %-ных и 99 %-ных уровней доверия означает, что один результат из 20 и один результат из 100, соответственно, могут быть ошибочны.

Наличие трех выбросов у данных, полученных в третьей лаборатории (длина вырезки 3 мм; опыты №№8, 10, 13), следует объяснить слишком маленькой длиной вырезки штриха. Таким образом, использование недостаточного количества красящего вещества в штрихе может приводить к искажению дальнейших расчетов.

Таблица №4

День исследования	ΔE*		ΔL*		ΔE*		ΔL*	
	Статистика Граббса				Тестовая статистика			
	Gr	выбр ос	Gr	выбр ос	G ₁	выбр ос	G ₁	выбр ос
	(одиночный верхний)				(одиночный нижний)			
1	0.71058	—	1.14457	—	1.14352	—	0.70444	—
2	1.02116	—	1.00439	—	0.97740	—	0.99555	—
3	1.08773	—	0.74651	—	0.87947	—	1.13617	—
4	1.15460	—	0.67214	—	0.59028	—	1.14919	—
5	1.15451	—	1.14764	—	0.59538	—	0.68424	—
6	1.15341	—	0.90851	—	0.62395	—	1.07147	—
7	0.91890	—	0.85818	—	1.06502	—	1.09815	—
8	1.07490	—	0.62705	—	0.90275	—	1.15323	—
9	1.10899	—	0.78770	—	0.83309	—	1.12505	—
10	1.13950	—	0.64917	—	0.73145	—	1.15159	—
11	1.07927	—	0.96291	—	0.89513	—	1.03336	—
12	1.15444	—	0.73439	—	0.59846	—	1.13888	—
13	1.13812	—	0.65447	—	0.73793	—	1.15110	—
14	0.80396	—	1.12091	—	1.11978	—	0.80061	—
15	1.02559	—	0.82392	—	0.97228	—	1.11258	—
16	1.11361	—	0.75474	—	0.82121	—	1.13419	—
17	1.13715	—	0.82007	—	0.74225	—	1.11403	—
18	0.90208	—	1.14660	—	1.07529	—	0.69154	—
19	0.93048	—	0.88915	—	1.05740	—	1.08259	—
20	1.10104	—	1.03117	—	0.85118	—	0.96560	—
Т°	1.15306	—	0.74604	—	0.62982	—	1.13628	—
УФ	1.15147	—	1.05205	—	0.65048	—	0.93821	—

Критическое значение для критерия Граббса	Gr	G ₁
	99%	95%
	1,155	

Примечание: Отсутствие выброса обозначается "—"; наличие выброса обозначается "+";

Табл. 4. Данные оценки воспроизводимости цветового параметра L* и величины цветового различия ΔE* с использованием межлабораторного критерия Граббса (статистика Граббса (Gr); тестовая статистика-G₁) штриха пасты шариковой ручки EaStar ES 612 MC сине-фиолетового цвета полученных от трех лабораторий (длины вырезок штрихов 5, 4, 3 мм соответственно) от времени исследования (измерения проводились в пяти повторях).

Критерий Граббса используют для проверки наличия базовых элементов, которые являются слишком большими или слишком маленькими и могут дать завышенную или заниженную величину стандартного отклонения воспроизводимости. Статистика, используемая в критерии Граббса, тесно связана с h-статистикой Манделя. В данном случае обнаруживается отсутствие выбросов, что говорит об удовлетворительном результате полученных средних значений оцениваемых величин ΔE* и L*, что свидетельствует об их высокой степени воспроизводимости.

Таблица 5

№ опыта	Давность нанесения штриха (сут)	Цветовые характеристики									алгоритм		
		L*	выброс	a*	выброс	b*	выброс	ΔL^*	выброс	ΔE^*	выброс	$Lg_{T1}(\Delta E^* L^*)$	выброс
1	1,9	1,14352	—	0,67535	—	1,14120	—	0,71058	—	0,70444	—	0,75242	—
2	5,9	0,97740	—	1,11479	—	1,05704	—	1,02116	—	0,99555	—	1,00765	—
3	8,9	0,87947	—	0,99915	—	0,62448	—	1,08773	—	1,13617	—	1,14111	—
4	13,0	0,59028	—	1,04085	—	0,67648	—	1,15460	—	1,14919	—	1,14987	—
5	15,9	0,59538	—	0,63793	—	1,15156	—	1,15451	—	0,68424	—	0,68378	—
6	19,9	0,62395	—	1,09062	—	1,06840	—	1,15341	—	1,07147	—	1,07201	—
7	22,9	1,06502	—	1,14942	—	0,64540	—	0,91890	—	1,09815	—	1,11655	—
8	27,0	0,90275	—	1,15306	—	0,58613	—	1,07490	—	1,15323	—	1,15395	—
9	30,0	0,83308	—	1,12024	—	0,76895	—	1,10899	—	1,12505	—	1,13175	—
10	33,9	0,73145	—	1,12221	—	0,71625	—	1,13950	—	1,15159	—	1,15153	—
11	272,0	0,89513	—	0,95675	—	0,97999	—	1,07927	—	1,03336	—	1,04511	—
12	275,0	0,59847	—	1,14498	—	0,84062	—	1,15444	—	1,13888	—	1,13961	—
13	279,0	0,73793	—	0,93460	—	0,66066	—	1,13812	—	1,15110	—	1,15251	—
14	296,1	1,11978	—	1,00255	—	0,79074	—	0,80396	—	0,80061	—	0,91084	—
15	303,0	0,97228	—	1,13077	—	1,14899	—	1,02559	—	1,11258	—	1,09054	—
16	310,0	0,82121	—	0,96475	—	0,92152	—	1,11361	—	1,13419	—	1,13293	—
17	317,0	0,74225	—	1,07304	—	1,05094	—	1,13715	—	1,03450	—	1,04492	—
18	324,1	1,07529	—	1,14596	—	1,07864	—	0,90208	—	0,69154	—	0,62938	—
19	331,2	1,05740	—	0,75756	—	0,76283	—	0,93048	—	1,13462	—	1,14485	—
20	342,0	0,85182	—	1,03041	—	1,11919	—	1,10104	—	0,90809	—	0,92077	—
T°	35,1	0,62982	—	0,67712	—	0,83190	—	1,15306	—	1,13628	—	1,13855	—
УФ	35,1	0,65048	—	1,14218	—	1,14989	—	1,15147	—	0,93821	—	0,93915	—

Критическое значение для критерия Граббса	G _p	G ₁
	99%	95%
	1,155	

Примечание: Отсутствие выброса обозначается "—"; наличие выброса обозначается "+";

Табл. 5. Данные оценки воспроизводимости цветовых параметров, величин цветового различия и алгоритма зависимости $Lg_{T1}(\Delta E^* \times L^*)$ с использованием межлабораторного критерия Граббса штриха пасты шариковой ручки EaStar ES 612 MC сине-фиолетового цвета длиной 5 мм от времени исследования (измерения проводились в пяти повторах).

Статистический анализ полученных данных наглядно доказывает наличие межлабораторной претенциозности как спектрофотометрических измерений, так и расчетов параметров цветовой модели $L^*a^*b^*$ и параметров цветового различия ΔE^* и L^* , что свидетельствует о высокой степени повторяемости (воспроизводимости) и достоверности данных измерений и расчетов. При этом показатели воспроизводимости не зависят от массы штриха (длина вырезки) при условии достаточной концентрации окрашенного раствора в результате экстракции (экстрагирующий потенциал красящего вещества в штрихе).

Для дополнительного подтверждения последнего высказывания использовали метод установления взаимосвязи между «величинами значимого параметра» от времени исследования с определением, в качестве оценки, коэффициента корреляции между полученными массивами данных при различных длинах вырезок, определенного по формуле Пирсона.

$$r_{XY} = \frac{cov_{XY}}{\sigma_X \sigma_Y} = \frac{\sum(X - \bar{X})(Y - \bar{Y})}{\sqrt{\sum(X - \bar{X})^2 \sum(Y - \bar{Y})^2}}$$

При этом значения r могут принимать значения из интервала $[-1...1]$. Значение $r = 1$ говорит о строгой прямой линейной зависимости между величинами $y = kx + b$, $r = -1$ – отрицательной линейной зависимости $y = -kx + b$ (для наглядности $k > 0$). Значение же $r = 0$ обозначает отсутствие связи между величинами.

Для оценки полученных значений корреляций можно воспользоваться шкалой Челдока, в которой выделяются градации силы корреляционной связи:

<i>Показания тесноты связи</i>	<i>0,1 - 0,3</i>	<i>0,3 - 0,5</i>	<i>0,5 - 0,7</i>	<i>0,7 - 0,9</i>	<i>0,9 - 0,99</i>
<i>Характеристика силы связи</i>	<i>слабая</i>	<i>умеренная</i>	<i>заметная</i>	<i>высокая</i>	<i>весьма высокая</i>

При анализе экспериментальных значений величин значимого параметра $\Delta E^* \times L^*$ штрихов пасты шариковой ручки EaStar ES 612 MC сине-фиолетового цвета в зависимости от времени исследования и описываемой зависимостью вида $LgT_i (\Delta E^* \times L^*)$, (где T_i - время проведения исследования) вычисленные в ходе измерений с одной или другой длинной вырезки, получены значения коэффициента корреляции не менее 0,99, что говорит о наличии весьма высокой функциональной связи между полученными значениями (см. таблицу №6)

Таблица №6

День исследования	Время со дня нанесения штриха (сутки)	Среднее значение алгоритма зависимости $\log_{T_i}(\Delta E^* \times L^*)$		
		вырезка штриха 5 мм	вырезка штриха 4 мм	вырезка штриха 3 мм
1	1,9	10,826082	10,394512	10,479143
2	5,9	3,821394	3,861807	3,779061
3	8,9	3,142523	3,127835	3,052994
4	13,0	2,724299	2,715494	2,636765
5	15,9	2,502173	2,543738	2,496503
6	19,9	2,334304	2,306266	2,259623
7	22,9	2,125016	2,147814	2,061521
8	27,0	2,073882	2,070552	1,992311
9	30,0	2,031460	2,015928	1,957238
10	33,9	1,934164	1,938858	1,881736
11	272,0	1,253023	1,267197	1,233982
12	275,0	1,245813	1,253221	1,210228
13	279,0	1,237625	1,242915	1,166030
14	296,1	1,182338	1,205162	1,190999
15	303,0	1,202148	1,208580	1,189359
16	310,0	1,213381	1,221920	1,180110
17	317,0	1,201630	1,221920	1,176531
18	324,1	1,210254	1,220339	1,180907
19	331,2	1,197013	1,182647	1,164434
20	342,0	1,197871	1,173130	1,157187

T°	35,1	1,884866	1,896001	1,833382
УФ	35,1	1,898833	1,940890	1,868945

Коэффициенты корреляции между зависимостями вида $\log_{T_1}(\Delta E^* \times L^*)$ полученные при различных длинах вырезки штриха	вырезка / вырезка		
	5 мм / 4 мм	4 мм / 3 мм	5 мм / 3 мм
	0,999785	0,999883	0,999914

Табл. 6. Данные полученных значений величин алгоритма зависимости $Lg_{T_1}(\Delta E^* \times L^*)$ от времени со дня нанесения при использовании вырезов штрихов 5 мм, 4 мм, 3 мм и соответствующие коэффициенты корреляции между этими зависимостями.

Аналогичные результаты были получены и по остальным типам материалам письма: чернила капиллярной ручки Berlingo Liner синего цвета; штемпельной краски COLOP E/R 40 синего цвета; чернила ручки роллерного типа ZEBRA Zeb-Roller Dx5 синего цвета; чернила универсальные Информат синего цвета (для перьевых ручек); чернила гелевой ручки Cello TOP gel синего цвета (см. таблица №7).

Кроме того, с учетом особенностей и свойств чернил гелевых ручек, дополнительно проводились исследования штрихов длиной 5 мм, 10 мм, 20 мм чернил гелевой ручки STABILO color синего цвета, чернил гелевой ручки SWING pentek синего цвета по описанным выше условиям; полученные параметры приведены в таблице 7.

Таблица №7

Бренд	длина вырезки штриха (мм)	Полученное уравнение математической модели	Коэффициент детерминации	Полученное уравнение математической модели	
				Без агрессивного воздействия	Агрессивное воздействие
паста шариковой ручки EaStar ES 612 MC сине-фиолетового цвета	0,5	$Y = 7,120591X^{-0,327217}$	0,880274	$Y = 6,957611X^{-0,325805}$	0,871637
	0,4	$Y = 6,998803X^{-0,322254}$	0,884569	$Y = 6,851903X^{-0,320960}$	0,876966
	0,3	$Y = 6,914979X^{-0,326246}$	0,879058	$Y = 6,760660X^{-0,324870}$	0,870778
чернилами для ручки капиллярного типа Berlingo Liner синего цвета	0,5	$Y = 6,118649X^{-0,334646}$	0,880740	$Y = 6,031212X^{-0,333768}$	0,877291
	0,4	$Y = 6,315157X^{-0,343268}$	0,883464	$Y = 6,247585X^{-0,342613}$	0,881641
	0,3	$Y = 6,189720X^{-0,334843}$	0,885235	$Y = 5,937775X^{-0,334015}$	0,882160
штемпельная краска COLOP E/R 40 синего цвета	0,5	$Y = 5,286581X^{-0,294052}$	0,835468	$Y = 5,151146X^{-0,295469}$	0,826348
	0,4	$Y = 5,802503X^{-0,319927}$	0,854808	$Y = 5,628707X^{-0,318072}$	0,838687
	0,3	$Y = 4,754971X^{-0,281666}$	0,797145	$Y = 4,535042X^{-0,278777}$	0,757186
чернилами для ручки роллерного типа ZEBRA Zeb-Roller Dx5 сине-фиолетового цвета	0,5	$Y = 6,881414X^{-0,338245}$	0,889047	$Y = 6,67863X^{-0,336420}$	0,875589
	0,4	$Y = 6,885621X^{-0,337238}$	0,890714	$Y = 6,698069X^{-0,33554}$	0,879059
	0,3	$Y = 6,603734X^{-0,335283}$	0,891162	$Y = 6,406693X^{-0,333436}$	0,877082
чернила для гелевой ручки Cello TOP gel синего цвета	0,5	$Y = 5,130718X^{-0,341779}$	0,914244	$Y = 5,041198X^{-0,340705}$	0,908908
	0,4	$Y = 4,587649X^{-0,323431}$	0,912696	$Y = 4,382060X^{-0,320634}$	0,877668
	0,3	$Y = 4,949146X^{-0,331085}$	0,869354	$Y = 4,866338X^{-0,33056}$	0,864037
чернила универсальные информат синего цвета	0,5	$Y = 6,537988X^{-0,346844}$	0,882542	$Y = 6,411418X^{-0,345652}$	0,876927
	0,4	$Y = 6,365308X^{-0,353224}$	0,893208	$Y = 6,202216X^{-0,352641}$	0,883421
	0,3	$Y = 6,325016X^{-0,349657}$	0,903759	$Y = 6,213098X^{-0,348568}$	0,899022
чернила для гелевой ручки SWING pentek синего цвета	0,5	$Y = 5,628480X^{-0,440777}$	0,891530		
	1	$Y = 4,152278X^{-0,349517}$	0,877322		
	2	$Y = 4,558420X^{-0,361453}$	0,885419		
чернила для гелевой ручки Cello TOP gel синего цвета	0,5	$Y = 3,885456X^{-0,317253}$	0,828736		
	1	$Y = 4,539562X^{-0,356926}$	0,938240		

	2	$Y = 5,167322X^{-0.399518}$	0,821626		
чернила для гелевой ручки STABILO color gel синего цвета	0,5	$Y = 4,401358X^{-0.340024}$	0,848010		
	1	$Y = 4,667967X^{-0.385386}$	0,856221		
	2	$Y = 4,797470X^{-0.375085}$	0,869057		

По результатам исследований установлено наличие устойчивой степенной зависимости оцениваемых параметров с относительно высокой величиной коэффициента детерминации 0,91-0,75, причем, здесь речь идет и об измерениях после агрессивных внешних воздействий (световое, высокотемпературное) на штрихи. Полученные результаты свидетельствуют об отсутствии каких-либо значимых искажений спектральных параметров в зависимости от внешних агрессивных воздействий различных видов.

При этом анализ полученных результатов позволяет сделать выводы о том, что относительное снижение коэффициента детерминации до 0,79 и 0,75 наблюдается в отношении штрихов штемпельной краски малых размеров (3 мм), что так же следует объяснить недостаточной степенью насыщенности окрашенного раствора в каждой из указанных проб. Таким образом, вне зависимости от массы красящего вещества в штрихе, но при обеспечении достаточной концентрации окрашенного раствора, полученного в результате проведенной пробоподготовки, результаты спектральных измерений и расчетов в полной мере удовлетворяют критериям воспроизводимости и достоверности.

Параметры предложенного критерия соотношения цветовых различий модели $L^*a^*b^*$ показывают высокую близость друг к другу независимых результатов измерений и величин критериев статистической оценки, полученных при исследовании штрихов различных длин вырезов (соответственно, 5, 4, 3 мм), при условии различных факторов агрессивного воздействия (температурного, ультрафиолетового) на исследуемые штрихи. Данный факт свидетельствует о высокой степени воспроизводимости и прецизионности получаемых данных, описывающих процесс изменения значимого параметра от времени исследования.

Литература:

1. «Исследование методики установления абсолютной давности выполнения реквизитов документов по динамике выцветания цветовых штрихов», Отчет по научно-исследовательской работе НИИ ФГБОУ ВПО «ЛИПЕЦКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ» С.11; http://www.stu.lipetsk.ru/files/materials/7909/Otchet_bse.pdf
2. ГОСТ Р 52489-2005 (ИСО 7724-1:1984) Материалы лакокрасочные. Колориметрия. Основные положения.
3. ГОСТ 32278-2013 Стекло и изделия из него. Методы определения оптических характеристик. Определение цветовых координат.
4. ГОСТ Р ИСО 5725-2:2002 Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Часть 2. Основной метод определения измерения повторяемости и воспроизводимости стандартного метода измерений
5. ГОСТ 8.654-2016 Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Фотометрия. Термины и определения.
6. Ложкин Л.Д., Ситников Б.В., Веневцев А.Н. «К ВОПРОСУ О МОДЕЛИРОВАНИИ ПРОЦЕССА СТАРЕНИЯ ШТРИХОВ РЕКВИЗИТОВ ДОКУМЕНТОВ С ЦЕЛЬЮ УСТАНОВЛЕНИЯ АБСОЛЮТНОЙ ДАВНОСТИ ИХ ВЫПОЛНЕНИЯ» // «Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований». – М.: «Академия Естественных наук» №8 (2) 2015, С.13-26 <http://www.rae.ru/upfs/pdf/2015/8-2/7071.pdf>.
7. Б.В. Ситников, А.Н. Веневцев, Н.Ю. Жбанова, С.А. Жбанов. ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССОВ СТАРЕНИЯ ШТРИХОВ РЕКВИЗИТОВ ДОКУМЕНТОВ. Журнал «Вестник Липецкого государственного технического университета», N2(28), 2016. ISSN 2304 – 9235, С.35-41.