

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

ЖУРНАЛ
НАУЧНОЙ И ПРИКЛАДНОЙ
ФОТОГРАФИИ
И КИНЕМАТОГРАФИИ

Том 34

(ОТДЕЛЬНЫЙ ОТТИСК)

1

МОСКВА · 1990

А. Л. ЧУРАЕВ, В. В. АРТЕМОВА

ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКИЕ КРИВЫЕ И ФАЗОВОЭКСПОЗИЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГАЛОГЕНСЕРЕБРЯНЫХ ФОТОМАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ГОЛОГРАФИИ

Статья посвящена исследованию взаимосвязи величины фазового набегга голограммы и плотности ее почернения в широком интервале экспозиций и условий химико-фотографической обработки. Показана общность вида характеристической кривой и фазовоэкспозиционной характеристики фотоматериалов, отмечена линейная связь этих характеристик для областей их прямолинейного роста и отсутствие ее в других областях. Найден ряд факторов (тип проявителя, длительность проявления, тип фотоматериала, пространственная частота записи голограммы), определяющих наклон прямолинейного участка характеристической кривой и фазовоэкспозиционной характеристики.

Одна из актуальных задач, связанных с оценкой качества голографического изображения — исследование оптических характеристик слоев, определяющих параметры записанных на них голограмм [1–5]. Методы определения этих характеристик предложены в [1, 5, 6], а в [2, 4, 7–12] указано, что изменение величины фазового набегга в отбеленной голограмме $\Delta\varphi$ связано с изменением плотности почернения голограммы ΔD до ее отбеливания линейным соотношением

$$\Delta\varphi = K\Delta D(\Delta E), \quad (1)$$

где ΔE — изменение экспозиции, приводящее в изменению плотности почернения ΔD , а K — постоянная, зависящая лишь от вида применяемого отбеливателя. Практическая ценность данного соотношения обусловлена простотой нахождения посредством фазовоэкспозиционной характеристики (ФЭХ) на основе данных о характеристических кривых фотослоев, полученных с применением хорошо разработанных процедур на стандартной денситометрической аппаратуре.

Однако до настоящего времени оставалась неясной применимость (1) в достаточно широком интервале экспозиций, необходимом, согласно [1], для расчета голограмм с высокой дифракционной эффективностью (ДЭ). Кроме того, значения ΔD измеряют обычно на низких пространственных частотах ($\leq 1 \text{ мм}^{-1}$), тогда как расчеты ДЭ проводят, исходя из величин фазовых набегов, измеренных на частотах порядка 10^3 мм^{-1} . Важная роль такого рода отличий неоднократно обсуждалась в литературе [3, 7–9, 13]. Другая причина нарушения (1) может быть связана с неодинаковой зависимостью поглощения слоя и возникающего в нем фазового набегга от размеров проявленных микрокристаллов эмульсии [2, 9, 10], которые в ряде случаев существенно зависят от величины экспозиции [10, 11].

Ниже представлены результаты систематического экспериментального изучения связи $\Delta\varphi$ и ΔE для ряда голографических эмульсий в широком диапазоне экспозиций и условий химико-фотографической обработки. Значения $\Delta\varphi$ определяли, согласно методике [1], на основе измерений ДЭ фазовых голографических решеток, записанных на частоте 1000 мм^{-1} излучением He–Ne лазера ($\lambda = 632,8 \text{ нм}$) при отношении интенсивности пучков $M = 0,01$.

Измерения плотности почернения D выполняли на денситометре СР-25М с красным светофильтром, а также в свете He–Ne лазера. В последнем случае фотоприемником служил фотодиод ФД-24К. Измерение плотности почернения при лазерном освещении проводили в положении, когда свет падал на голограмму под углом Брегга и достигалась максимальная ДЭ. Проведенные эксперименты показали, что значения плотности, изме-

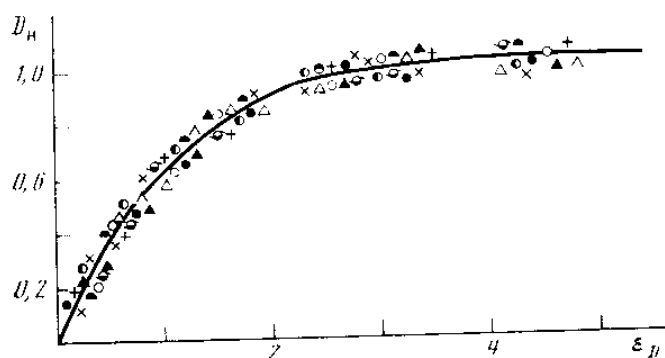


Рис. 1. Зависимость приведенной плотности почернения D_n от приведенной экспозиции ϵ_D для фотографических слоев. ВРЛ: 1 — проявитель ФГ, 2 — Д-82, 3 — Д-19; ЛОИ-2: 4 — ФГ, 5 — Д-82, 6 — Д-19 (непрерывное освещение); ИАЭ 9 — Д-19; ФП-Р: 10 — Д-19 (импульсное освещение). 1 — \circ , 2 — \bullet , 3 — $+$, 4 — \ominus , 5 — $\omin�$, 6 — $\omin�$, 7 — \blacktriangle , 8 — \blacktriangle , 9 — \triangle , 10 — \times

ренные с применением He-Ne лазера и СР 25М с точностью до 10%, совпадают в исследуемом диапазоне плотностей D ($0 \leq D \leq 4$). После измерения плотности и ДЭ амплитудные голограммы отбеливали и далее использовали для измерения ДЭ фазовых голограмм. Объектом исследования служили промышленные образцы фотопластинок ЛОИ-2, ВРЛ, ФП-Р, sensibilizированные к красной зоне спектра кушанием в растворе красителя, и лабораторные фотопластики ИАЭ при изменении в широком диапазоне времен проявления (от 5 с до 10 мин) и проявителей (Д-19, Д-82 [12], ФГ [14]). При проведении фотографической обработки после проявления слои сразу же помещали в стои-ванну (2%-ный водный раствор уксусной кислоты [12]), а затем фиксировали в течение 10 мин, что обеспечивало воспроизводимость полученных результатов. Для проявления голограмм выбраны химически активные проявители, позволяющие достичь значительных плотностей почернения при малых уровнях вуали и высоких значений ДЭ отбеленных голограмм [1, 10–12]. При этом, как указано в литературе [12, 16], проявляющий раствор Д-19 предназначен для получения высококонтрастных изображений, Д-82 — для получения высокой плотности почернения с недозаэкспонированных слоев. В состав проявителя ФГ [14] входит растворитель серебра — роданид калия, что позволяет характеризовать его как особомелкозернистый. Для всех случаев фотографической обработки неизменным оставался состав отбеливающего раствора, рекомендованный для получения высокоэффективных фазовых голограмм [15].

Анализ полученных зависимостей плотности почернения от экспозиции, построенных в линейном масштабе, показал, что они имеют вид, сходный с фазовоэкспозиционной зависимостью, найденной в работе [4]: начальные участки близки к линейным, а при дальнейшем росте экспозиции наблюдалось замедление роста плотности почернения. Количественный анализ 30 полученных ХК показал, что, как и в случае ФЭХ, галогенсеребряных слоев [1], в области экспозиций, соответствующих линейному росту и переходу к насыщению плотности почернения, данная характеристика удачно аппроксимируется удобными для расчетов функциями вида [17, 18]

$$D(E) = D_n + D_m [1 - \exp(-E/E_D)], \quad (2)$$

где D_n — плотность вуали, D_m — наибольшая плотность, достигаемая ХК при увеличении экспозиции при постоянном времени проявления, а величина E_D характеризует скорость нарастания плотности почернения с ростом экспозиции E .

На рис. 1 сплошной линией представлена зависимость нормированной

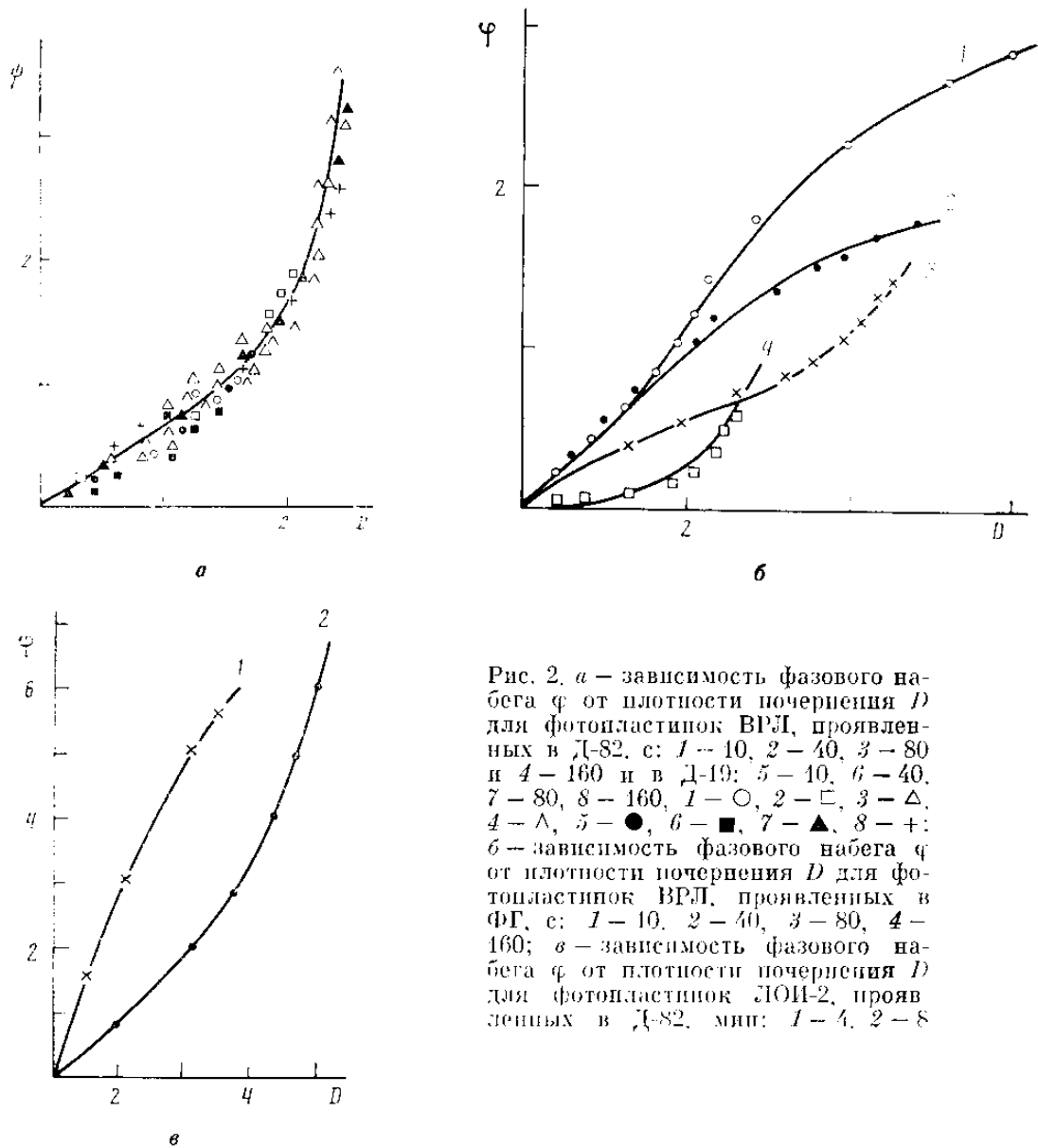


Рис. 2. а — зависимость фазового набегга φ от плотности почернения D для фотоластиков ВРЛ, проявленных в Д-82, с: 1 — 10, 2 — 40, 3 — 80 и 4 — 160 и в Д-19: 5 — 10, 6 — 40, 7 — 80, 8 — 160; 1 — \circ , 2 — \square , 3 — \triangle , 4 — \wedge , 5 — \bullet , 6 — \blacksquare , 7 — \blacktriangle , 8 — $+$; б — зависимость фазового набегга φ от плотности почернения D для фотоластиков ВРЛ, проявленных в ФГ, с: 1 — 10, 2 — 40, 3 — 80, 4 — 160; в — зависимость фазового набегга φ от плотности почернения D для фотоластиков ЛОИ-2, проявленных в Д-82, мин: 1 — 4, 2 — 8

плотности почернения $D_n = D/D_m$ от нормированной экспозиции $\varepsilon_D = E/E_D$ вида $D_n = 1 - \exp(-\varepsilon_D)$ и приведены экспериментальные данные зависимости плотности почернения от экспозиции за вычетом плотности вуали для исследованных слоев и способов фотографической обработки. Из представленных результатов видно, что, как и в случае исследования ФЭХ [1], при $\varepsilon_D = 5$ наблюдается достаточно хорошее (в пределах 10%) совпадение аппроксимирующей зависимости (2) с экспериментальными данными. Таким образом, из сопоставления выражения (2) с выражением, описывающим ФЭХ отбеленной галогенсеребряной голограммы [1],

$$\varphi(E) = \varphi_0 (1 - \exp(-E/E_0)), \quad (3)$$

где φ_0 — наибольший фазовый набег, достижимый при заданном времени проявления, а величина E_0 характеризует скорость нарастания фазового набегга, следует, что наблюдается общность функциональной зависимости плотности почернения и фазового набегга от экспозиции. Общность вида ХК и ФЭХ может быть объяснена, если предположить, что фазовый набег φ и плотность почернения слоя D пропорциональны числу проявленных зерен серебра N , так как в этом случае при выполнении достаточно общих предположений об оптических свойствах галогенсеребряного голографического слоя зависимость числа проявленных зерен серебра от экспозиции

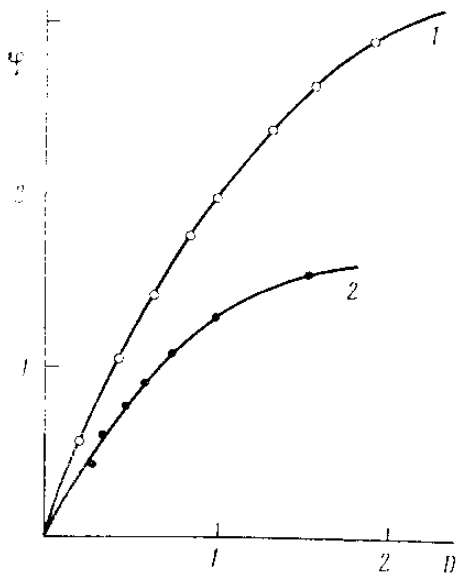


Рис. 3. Зависимость фазового падега φ от плотности почернения D для фотопластинок ЛОИ-2, проявленных в Д-19 4 мин: 1 — зависимость на частоте 1000 , 2 — на частоте 100 мм^{-1}

будет иметь вид, аналогичный (2) [1]. Предположение о пропорциональности плотности почернения D числу проявленных зерен серебра N подтверждается известной экспериментальной зависимостью между оптической плотностью почернения D и поверхностной концентрацией проявленного серебра C для частиц достаточно малых размеров [19, 20].

Вместе с тем сопоставление экспериментальных результатов по зависимостям ФЭХ и ХК от экспозиции для разных слоев и обработок показывает, что значения E_0 и E_D для одного и того же фотографического материала, вообще говоря, не совпадают один с другим (см. таблицу). Это приводит к нелинейности связи φ и D при экспозициях, сравнимых или превосходящих E_0 , E_D (см. рис. 2). Что касается линейных участков зависимости φ от D , то их наклон, согласно рис. 2, зависит от ряда факторов, включая способ проявления (тип проявителя и длительность обработки), тип фотоматериала и пространственную частоту записи голограммы

(см. рис. 3). Наиболее сильная зависимость вида функции φ от D и ее наклона от условия обработки наблюдалась при проявителе ФГ, содержащем значительное (примерно 4 г/л) количество роданистого калия — актив-

Фотографический слой	Обработка	K^*	E/E_0
ЛОИ-2	ФГ, отбеливание [15] $T_{пр} = 1-4$ мин;	$K \approx 1$	0,5-2
	Д-82, отбеливание [15] $T_{пр} = 1-8$ мин;	$1/3 \leq K \leq 1$	2,6-3
	Д-19, отбеливание [15] $T_{пр} = 1-8$ мин;	$1/3 \leq K \leq 1$	1,2-1,5
ВРЛ	ФГ, отбеливание [15] $T_{пр} = 10 \text{ с} - 3$ мин	$0,1 \leq K \leq 1$	0,4-0,6
	Д-82, отбеливание [15] $T_{пр} = 10 \text{ с} - 3$ мин	$K \approx 0,7$	1,0-1,2
	Д-19, отбеливание [15] $T_{пр} = 10 \text{ с} - 3$ мин	$K \approx 0,7$	1,0-1,2

* K — коэффициент пропорциональности между плотностью почернения и величиной фазового падега голограмм в диапазоне их линейной зависимости.

ного растворителя микрокристаллов галогенида серебра, что связано, по-видимому, с изменением их размеров по мере увеличения длительности проявления. Диапазон изменения наклона начального участка зависимостей φ от D ($K_{лин} = \frac{d\varphi}{dD}$ при $D \rightarrow 0$) охватывал порядок — от 0,1 до 1,0 и,

таким образом, для исследованных фотоматериалов и условий их обработки попытки определить связь φ и D каким-либо одним числом, зависящим лишь от способа отбеливания, подобно [19], не основательны. Для корректной оценки качества изображений, создаваемых отбеленными голо-

граммами, недостаточно знания XK слоев в соответствующих условиях обработки и типе отбеливателя, а требуется определять ФЭХ для каждого конкретного материала и режима его обработки. Вопрос о причинах нелинейности и неоднозначности связи между плотностью проявленного слоя и величиной фазового падега после его отбеливания, как отмечалось выше, весьма сложен и может быть предметом отдельного изучения.

Авторы благодарны Д. И. Стаселько за ценные обсуждения и оказанную поддержку в работе и Т. В. Савельевой за помощь в проведении экспериментов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Стаселько Д. И., Чураев А. Л. // Оптика и спектроскопия. 1984. Т. 57. № 4. С. 677.
2. Андреева О. В., Сузанов В. И. // Оптическая голография. Л.: Наука, 1979. С. 53.
3. Кириллов Н. И. // Высокоразрешающие фотоматериалы для голографии и процессы их обработки. М.: Наука, 1979. С. 136.
4. Renisse R. L. van, Bouts F. A. J. // Optic. 1973. V. 38. № 2. P. 156.
5. Ворзובה П. Д., Лецев А. А., Семенцов П. М. и др. // Оптика и спектроскопия. 1978. Т. 45. Вып. 4. С. 779.
6. Аникин А. А., Малиновский В. К. // Квантовая электроника 1975. Т. 2. № 9. С. 2054.
7. Biedermann K., Johansson S. JOSA. 1974. V. 64. № 6. P. 862.
8. Андреева О. В., Сузанов В. И. // Письма в ЖТФ. 1984. Т. 10. Вып. 23. С. 1446.
9. Андреева О. В., Сузанов В. И. // Оптическая голография с записью в трехмерных средах. Л.: Наука, 1986. С. 43.
10. Усанов Ю. Е. // Регистрирующие среды для голографии. Л.: Наука, 1975. С. 98.
11. Усанов Ю. Е., Кособокова Н. Л., Тихомиров Г. П. // Оптико-механическая промышленность. 1977. № 9. С. 15.
12. Микулин В. П. // Фотографический рецептурный справочник. М.: Искусство, 1972.
13. Biedermann K. // Optic. 1968. V. 28. № 2. P. 160.
14. Денисюк Ю. Н., Загорская З. А., Курсакова А. М. и др. // Тез. докл. Всесоюз. конф. «Физические процессы на основе галогенидов серебра». Черноголовка. М., 1983. С. 266.
15. Кириллов Н. И., Масленкова Н. Г., Петренко А. С., Гулалян Э. Х. // Проблемы голографии. М.: МНРЭА, 1973. С. 122.
16. Блюмберг И. Б. Технология обработки фотоматериалов. М.: Искусство, 1967. С. 441.
17. Миз К. Теория фотографического процесса. М. — Л.: ГИТТЛ, 1949.
18. Фризер Х. Фотографическая регистрация информации. М.: Мир, 1978. С. 671.
19. Андреев Ю. С. // Журн. науч. и прикл. фото- и кинематографии. 1982. Т. 27. № 3. С. 195.
20. Чибисов К. В. Общая фотография. М.: Искусство, 1984. С. 446.

Поступила в редакцию
12.04.1988

УДК 772.932.45 : 771.531.37

© 1990 г.

Э. Ф. РЯННЕНЬ, Л. В. КАПЛИНСКАЯ, Е. В. МИКУБАЕВА

ВЛИЯНИЕ ГРАНИЧНОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ ТЕЛЛУРА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИНЖЕКЦИОННОЙ СЕНСИБИЛИЗАЦИИ ВАРИЗОННЫМИ СЛОЯМИ СЕЛЕН — ТЕЛЛУР

Исследована зависимость эффективности инжекционной сенсibilизации полимерных слоев поликарбоната с добавкой дифенилгидразона дитиламинобензальдегида варизонными слоями $Se_{1-x}Te_x$ от x . Показано, что зависимость электрофотографической чувствительности (ЭФЧ) от x имеет максимум в области 0,3. При $x \geq 0,35$ ЭФЧ резко снижается. Предполагается, что падение ЭФЧ связано с возникновением при больших x потенциального барьера на инжектирующем контакте.

В работах [1, 2] даны сведения об инжекционной сенсibilизации слоев на основе органических полупроводников с применением варизонных слоев (ВПС), на основе твердых растворов селена и теллура. Описана методика получения слоев, их свойства, особенности фоторазряда и характеристики полученных многослойных электрофотографических (ЭФ) мате-