

*Сагымбаев А.А., Шамшиев Т.С.*

**ФОТОПОЛИМЕРДИ АЛЫП ЖУРҮҮЧҮЛӨРДҮ ЫСЫТУУДА ЖЫЛУУЛУК  
НУРДАНУУЛАРЫН МОДЕЛДӨӨ**

*Сагымбаев А.А., Шамшиев Т.С.*

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОТОПОЛИМЕРИЗУЮЩИХСЯ НОСИТЕЛЕЙ  
ПРИ НАГРЕВЕ ТЕПЛОМЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ**

*A.A. Sagymbaev, T.S. Shamshiev*

**MODELLING OF FOTOPOLIMERIZED OF CARRIERS WHEN  
HEATING BY THERMAL RADIATION**

УДК: 728.38:621.397

*Бул макалада фотополимерлерди алып жүрүүчүлөрдү жылуулук нурдануусу менен ысытуудагы моделдөө каралган. Каттоочу чөйрөдөгү иштетүү процессинде болгон температуралык талаанын кеңейүүсүн көрсөткөн тунингмалар алынган.*

**Негизги сөздөр:** фотополимер, катмар, температура, жылуулук өткөрүмдүүлүк, баштапкы жана чектүү шарттар, лазер.

*Здесь рассматривается моделирование при нагреве фотополимеризующегося носителя тепловым излучением. Получены выражения описывающие развитие температурных полей в процессе обработки регистрирующей среды.*

**Ключевые слова:** фотополимер, подложка, температура, теплопроводность, начальные и граничные условия, лазер.

*Here we consider the simulation in a photopolymerizable medium heat when heated by thermal radiation. Obtain expressions describing the development of temperature fields in the processing of the recording medium.*

**Key words:** photopolymer, substrate, temperature, heat conductivity, entry and boundary conditions, laser.

В работах [1-3] рассмотрены исследования закономерностей локальной записи голограмм при нагреве регистрирующей среды излучением лазера.

Однако, при записи интерферограмм объемных голограмм с большой площадью регистрации, требуется нагрев данной поверхности в целом. В таких случаях, нагрев регистрирующего слоя производится в печах.

Процесс передачи к нагреваемому телу в печах с высокой температурой в основном передается излучением. Тепловой поток получаемый поверхностью тела от нагретых стен и свода печи, прямо пропорционален разности четвертых степеней абсолютных температур поверхностей, участвующих в теплообмене:

$$c = \sigma c (T_{\text{ст}}^4 - T_{\text{н}}^4) \quad (1)$$

где  $\sigma$  – постоянная Стефана-Больцмана;  $c$  – постоянный коэффициент, зависящий от способности поверхности тела поглощать лучистую энергию и от взаимного расположения облучаемого и излучающего тел. Индекс  $\text{ст}$  – обозначает, что данная величина соответствует поверхности тела, а индекс  $\text{н}$  – поверхности излучения.

Для некоторых регистрирующих сред толщина регистрирующего слоя несравненно меньше толщины подложки ( $h_2 \ll h_1$ ) (т.е. теплоемкостью регистрирующего слоя мала по сравнению с теплоемкостью подложки). Поэтому, считая, что температура на поверхности подложки равна температуре регистрирующего слоя, можно пренебречь существованием регистрирующего слоя в теплофизических задачах и перейти к рассмотрению однослойной структуры, поместив начало координат в середину толщины подложки (рис. 1. а).

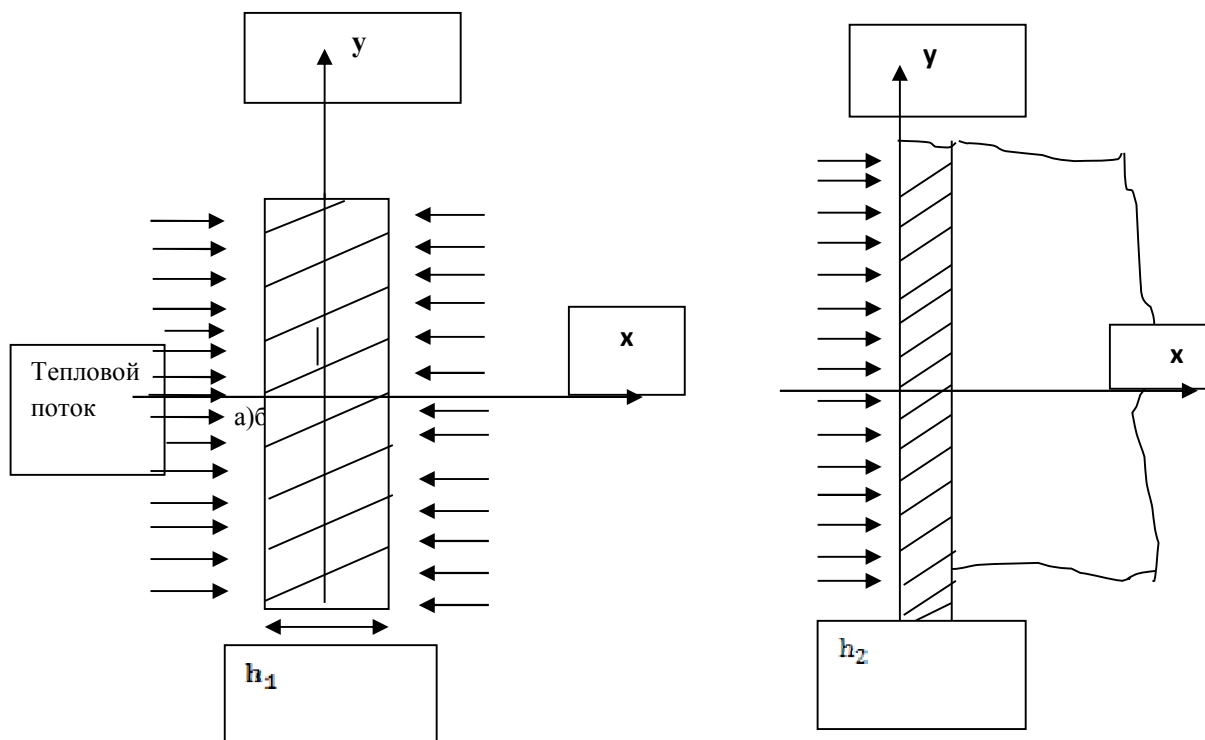


Рис. 1. Модели структуры подложки – регистрирующая среда при нагреве тепловым излучением: а-без учета толщины регистрирующего слоя; б-с учетом толщины регистрирующего слоя.

При этом дифференциальное уравнение теплопроводности примет вид:

$$\frac{dT_2(x,t)}{dt} = a_2 \frac{d^2T_2(x,t)}{dx^2}, \quad (2)$$

$$(t > 0, -h_1/2 \leq x \leq h_1/2).$$

Начальные и граничные условия для симметричной задачи имеют вид:

$$T_2(x,0) = T_0, \quad \frac{dT_2(h_1/2,t)}{dx} + \frac{q_c}{k_2}, \quad (3)$$

Здесь индексы 1 и 2 относятся к регистрирующему слою и подложке соответственно;  $a$  – температуропроводность,  $k$  – теплопроводность среды;  $h$  – толщина подложки;  $t$  – время.

Для решения краевой задачи теплопроводности используется преобразование Лапласа во времени. После необходимых преобразований образ температуры на поверхности подложки будет:

$$T_2\left(\frac{h_1}{2}, p\right) = \frac{q_c \operatorname{ch}\left(\sqrt{\frac{p}{a_2}} \frac{h_1}{2}\right)}{k_1 p \sqrt{\frac{p}{a_2}} \operatorname{sh}\left(\sqrt{\frac{p}{a_2}} \frac{h_1}{2}\right)} + \frac{T_0}{p}. \quad (4)$$

Используя условия  $h_1 \ll \sqrt{a_2 \tau}$  ( $\tau$  – время нагрева) в (4) разложим гиперболические функции в ряд, ограничиваясь первыми членами разложения,

получим для образа температуры на поверхности подложки:

$$T_2\left(\frac{h_1}{2}, p\right) = \frac{2q_c a_2}{k_2 h_1} \frac{1}{p^2} + \frac{T_0}{p}. \quad (5)$$

Переходя от выражения (5) к оригиналам получают температуру регистрирующего слоя

$$T_1(t) = 2 \frac{q_c a_2}{k_2 h_1} t + T_0. \quad (6)$$

Для того чтобы определить зависимости температуры по толщине регистрирующего слоя в теплофизической задаче должны учитывать толщину регистрирующего слоя (рис. 1. б.) Уравнения теплопроводности примут вид:

$$\frac{dT_1(x,t)}{dt} = a_1 \frac{d^2T_1(x,t)}{dx^2}, \quad 0 \leq x \leq h_2, \quad (7)$$

$$\frac{dT_2(x,t)}{dt} = a_2 \frac{d^2T_2(x,t)}{dx^2}, \quad x \geq h_1.$$

Начальные и граничные условия будут иметь следующий вид:

$$T_1(x,0) = T_2(x,0) = T_0,$$

$$\frac{dT_1(0,t)}{dx} = -\frac{q_c}{k_1}$$

$$T_1(\infty, t) = T_0$$

$$T_1(h_2, t) = T_2(h_2, t).$$

$$T_1(x, p) = (v - 1) \frac{q_c}{k_1 p} \sqrt{\frac{a_2}{p}} \frac{\operatorname{ch}\left(\sqrt{\frac{p}{a_2}} x\right) \exp\left(-\sqrt{\frac{p}{a_2}} h_2\right)}{\operatorname{ch}\left(\sqrt{\frac{p}{a_2}} h_2\right) + v \operatorname{sh}\left(\sqrt{\frac{p}{a_2}} h_2\right)} + \frac{q_c}{k_1 p} \sqrt{\frac{a_1}{p}} \exp\left(-\sqrt{\frac{p}{a_1}} x\right) \quad (9)$$

$$k_1 \frac{dT_1(h_2, t)}{dt} = k_2 \frac{dT_2(h_2, t)}{dx^2}$$

После применения преобразования Лапласа, последнее уравнение для образа температуры примет вид:

$$v = \frac{k_1 \sqrt{a_2}}{k_2 \sqrt{a_1}}$$

Используя условия тонкости пленки

$$(h_1 \ll \sqrt{a_1 t}) \quad (9)$$

разложим гиперболические тригонометрические функции в ряд, ограничиваясь первым членом разложения, после перехода в область оригиналов получим зависимость температуры регистрирующего слоя:

$$T_1(x, p) = \frac{v^2 - 1}{v} \frac{q_c \sqrt{a_1}}{k_1} \left[ \frac{\exp(U^2 t)}{U} \operatorname{erfc}(U \sqrt{t}) + \right.$$

$$\left. + \frac{2v}{1+v} \sqrt{\frac{t}{\pi}} - \frac{1}{U} \right] \frac{2q_c \sqrt{a_1}}{k_1} \sqrt{\frac{t}{\pi}} \exp\left(-\frac{x^2}{4ta_1}\right) -$$

$$\frac{q_c x}{k_1} \operatorname{erfc}\left(\frac{x}{2\sqrt{ta_1}}\right),$$

$$\text{где } U = \frac{\sqrt{a_1}}{vh_2} \quad (10)$$

На рисунке 2. а, б приведены графики, отражающие развитие температурных полей ФПН от времени

(8) нагреве при фиксированных зависимостях температуры по глубине фотополимеризующего слоя.

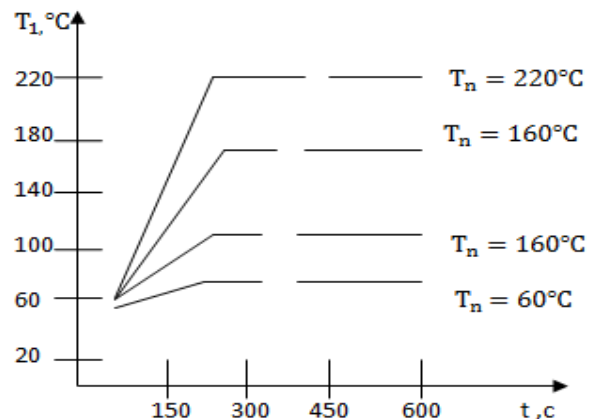


Рис. 2. а. Зависимости температуры на поверхности ФПН Omni Dex 352 от времени нагрева при различных температурах в печи.

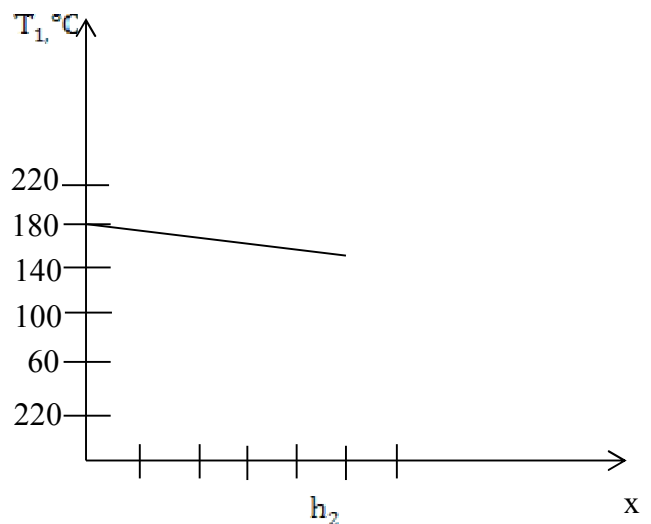


Рис. 2. б. Зависимость температуры от глубины ФПН Omni Dex 352.

#### Литература:

1. Акаев А.К., Джаманкызов Н.К., Жумалиев К.М. Нагрев ленточных ФТПН лазерным излучением. Методы оптической обработки информации. - Б., Илим, 1992.
2. Акаев А.А., Гуревич С.Б., Жумалиев К.М., Джаманкызов Н.К. Оптические вычислительные машины. - Б., 1996.
3. Кутанов А.А. Исследование закономерностей локальной записи голограмм на реверсивной регистрирующей среде. Применение методов оптической обработки изображений. - Ленинград, 1986 г.

Рецензент: д.ф.-м.н., профессор, член-корр. НАН КР Шаршекеев О.Ш.