



**Лабораторная работа №3:  
«Обработка экспериментальных данных по определению времени  
проявления фоторезиста в технологии фотолитографии на основе  
регрессионного анализа»**

по дисциплине: Метрология, стандартизация и сертификация  
вариант: 9

Выполнил: Неграш Андрей, Р34301

Преподаватель: Рассадина Анна Александровна

Санкт-Петербург  
2023

## 1. Цель

Определить коэффициенты регрессии полинома первого порядка, описывающего модель проявления фоторезиста в технологии фотолитографии; определить корреляционные связи между входными и выходными факторами.

## 2. Обработка результатов измерений

Результаты экспериментального определения времени проявления фоторезиста согласно матрице планирования эксперимента приведены в таблице:

№ опыта	Время проявления фоторезиста $T_n$ , с
1	25
2	193
3	64
4	12

### 2.1. Составление матрицы планирования эксперимента

Для построения модели проявления воспользуемся методом планирования дробного факторного эксперимента. В проводимом эксперименте принимает участие 3 фактора, тогда число необходимых опытов  $N = 2^{3-1} = 4$ .

Матрица планирования эксперимента выглядит следующим образом:

№ опыта	$h(x_1)$	$t_3(x_2)$	$f(x_3)$	$T_n(y_n)$
1	-1	-1	+1	25
2	+1	-1	-1	193
3	-1	+1	-1	64
4	+1	+1	+1	12

Таким образом экспериментальные данные для каждого из четырёх опытов приведены в таблице:

№ опыта	$H$ , мкм	$T_3$ , с	$F$ , %	$T_n$ , с
1	0,35	85	0,8	25
2	0,55	85	0,4	193
3	0,35	205	0,4	64
4	0,55	205	0,8	12

### 2.2. Определение коэффициентов регрессии

Определение коэффициентов регрессии происходит по формулам:

$$a_0 = \frac{\sum_{n=1}^N y_n}{N}, \quad a_i = \frac{\sum_{n=1}^N x_{in} * y_n}{N}$$

Вычислим коэффициенты регрессии для наших измерений:

$$a_0 = \frac{25 + 193 + 64 + 12}{4} = \frac{294}{4} = 73,5 \text{ с}$$

$$a_1 = \frac{-1 * 25 + 1 * 193 + (-1) * 64 + 1 * 12}{4} = \frac{116}{4} = 29 \text{ с}$$

$$a_2 = \frac{-1 * 25 + (-1) * 193 + 1 * 64 + 1 * 12}{4} = \frac{-142}{4} = -35,5 \text{ с}$$

$$a_3 = \frac{1 * 25 + (-1) * 193 + (-1) * 64 + 1 * 12}{4} = \frac{-220}{4} = -55 \text{ с}$$

2.3. Запись уравнения модели проявления фоторезиста  
Модель проявления фоторезиста может быть записана в виде:

$$T_{\Pi} = a_0 + a_1 h + a_2 t_3 + a_3 f$$

Согласно полученным ранее коэффициентам регрессии запишем уравнение модели проявления фоторезиста:

$$T_{\Pi} = 73,5 + 29h - 35,5t_3 - 55f$$

2.4. Определение средних значений и среднеквадратических отклонений  
для заданных факторов

Формула для вычисления среднего значения выглядит следующим образом:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^N X_i}{N}$$

Тогда средние значения для каждого из факторов и для полученных значений времени проявления фоторезиста будут соответственно равны:

$$\bar{h} = \frac{0,35 + 0,55 + 0,35 + 0,55}{4} = \frac{1,8}{4} = 0,45 \text{ мкм}$$

$$\bar{t}_3 = \frac{85 + 85 + 205 + 205}{4} = \frac{580}{4} = 145 \text{ с}$$

$$\bar{f} = \frac{0,8 + 0,4 + 0,4 + 0,8}{4} = \frac{2,4}{4} = 0,6\%$$

$$\bar{T}_{\Pi} = \frac{25 + 193 + 64 + 12}{4} = \frac{294}{4} = 73,5 \text{ с}$$

Формула для вычисления среднеквадратического отклонения выглядит следующим образом:

$$S_X = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2}$$

Тогда значения среднеквадратического отклонения для каждого из факторов и для полученных значений времени проявления фоторезиста будут соответственно равны:

$$S_h = \sqrt{\frac{2 * (0,35 - 0,45)^2 + 2 * (0,55 - 0,45)^2}{3}} = \sqrt{\frac{0,04}{3}} = 0,12 \text{ мкм}$$

$$S_{t_3} = \sqrt{\frac{2 * (85 - 145)^2 + 2 * (205 - 145)^2}{3}} = \sqrt{\frac{14400}{3}} = 69,28 \text{ с}$$

$$S_f = \sqrt{\frac{2 * (0,8 - 0,6)^2 + 2 * (0,4 - 0,6)^2}{3}} = \sqrt{\frac{0,16}{3}} = 0,23\%$$

$$\begin{aligned} S_{T_n} &= \sqrt{\frac{(25 - 73,5)^2 + (193 - 73,5)^2 + (64 - 73,5)^2 + (12 - 73,5)^2}{3}} = \\ &= \sqrt{\frac{2352,25 + 14280,25 + 90,25 + 3782,25}{3}} = \sqrt{\frac{20505}{3}} = 82,67 \text{ с} \end{aligned}$$

## 2.5. Определение коэффициента корреляции

Вычисление коэффициенты корреляции происходит по формуле:

$$R_{XY} = \frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{NS_X S_Y}$$

Вычислим коэффициенты корреляции между временем проявления фоторезиста и каждым из факторов.

Коэффициент корреляции между временем проявления и толщиной фоторезистора:

$$R_{T_n h} = \frac{11,6}{4 * 82,67 * 0,12} = \frac{11,6}{39,68} = 0,30$$

Коэффициент корреляции между временем проявления и временем экспонирования:

$$R_{T_{\text{н}}t_{\text{э}}} = \frac{-8520}{4 * 82,67 * 69,28} = \frac{-8520}{22909,51} = -0,37$$

Коэффициент корреляции между временем проявления и концентрацией щёлочи в проявителе:

$$R_{T_{\text{н}}f} = \frac{-44}{4 * 82,67 * 0,23} = \frac{-44}{76,06} = -0,58$$

### 3. Выводы по работе

В процессе выполнения данной лабораторной работы были получены следующие выводы:

3.1. Данный эксперимент можно отнести к активным факторным экспериментам, поскольку его целью было установление зависимости между значением времени проявления фоторезиста и независимых изменяющихся факторов.

3.2. Если сравнить коэффициенты регрессии и коэффициенты корреляции между временем проявления и соответствующему каждому коэффициенту регрессии фактору, то мы увидим, что они имеют одинаковые знаки, а также одинаковые отношения друг к другу:

$$\frac{R_{T_{\text{н}}h}}{a_1} = \frac{0,30}{29} = 0,011; \quad \frac{R_{T_{\text{н}}t_{\text{э}}}}{a_2} = \frac{-0,37}{-35,5} = 0,011; \quad \frac{R_{T_{\text{н}}f}}{a_3} = \frac{-0,58}{-55} = 0,011$$

Данное совпадение подтверждает правильность вычислений, ведь и коэффициент регрессии, и коэффициент корреляции показывает уровень влияния данного фактора на итоговое значение времени проявления фоторезиста.

3.3. Исходя из вычисленных коэффициентов регрессии, взятых по модулю, видно, что  $|a_3| > |a_2| > |a_1|$ . Таким образом можно сказать, что наименьшее влияние оказывает толщина фоторезиста, а наибольшее – концентрация щёлочи в проявителе.

3.4. По знаку вычисленных коэффициентов регрессии можно заметить, что увеличение толщины фоторезиста увеличит время его проявления, а увеличение времени экспонирования и концентрации щёлочи в проявителе уменьшит время проявления фоторезиста.