

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №12

### ФОКУСИРОВКА И ГРАДУИРОВКА СПЕКТРОГРАФА ИСП-51

Поляков Даниил, 19.Б23-фз

**Цель работы:** сфокусировать спектрограф, подобрав наилучший угол поворота фотоэлектрической кассеты и наилучшее положение объектива камеры, получить спектр излучения неона, расшифровать полученный спектр, построить график зависимости обратной линейной дисперсии от длины волны.

#### Схема установки

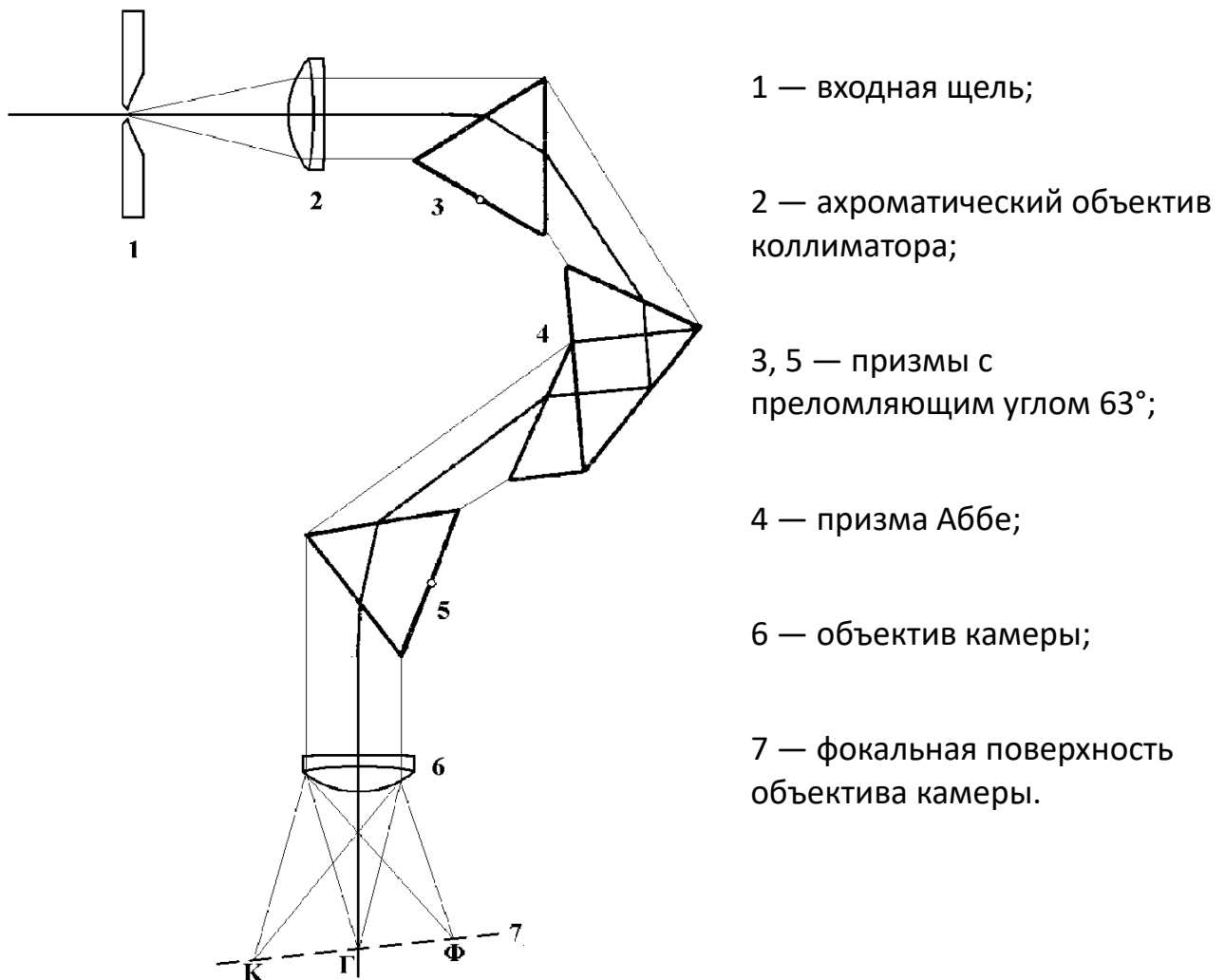


Рисунок 1.

Оптическая схема спектрографа ИСП-51

## Расчётные формулы

- Координата пикселя ПЗС-линейки:

$$x = N \cdot x_0$$

$N$  — номер пикселя;  
 $x_0 = 8$  мкм — расстояние между пикселями.

- Разность координат соседних спектральных линий:

$$\Delta x_i = x_{i+1} - x_i$$

- Разность длин волн соседних спектральных линий:

$$\Delta \lambda_i = \lambda_{i+1} - \lambda_i$$

- Средняя длина волны:

$$\langle \lambda \rangle_i = \frac{\lambda_i + \lambda_{i+1}}{2}$$

- Обратная линейная дисперсия спектрографа:

$$L = \frac{\Delta \lambda}{\Delta x}$$

$\Delta \lambda$  — разность длин волн соседних спектральных линий;  
 $\Delta x$  — разность координат соседних спектральных линий.

- Волновое число:

$$v = \frac{1}{n\lambda}$$

$n = 1.00029$  — показатель преломления воздуха;  
 $\lambda$  — длина волны.

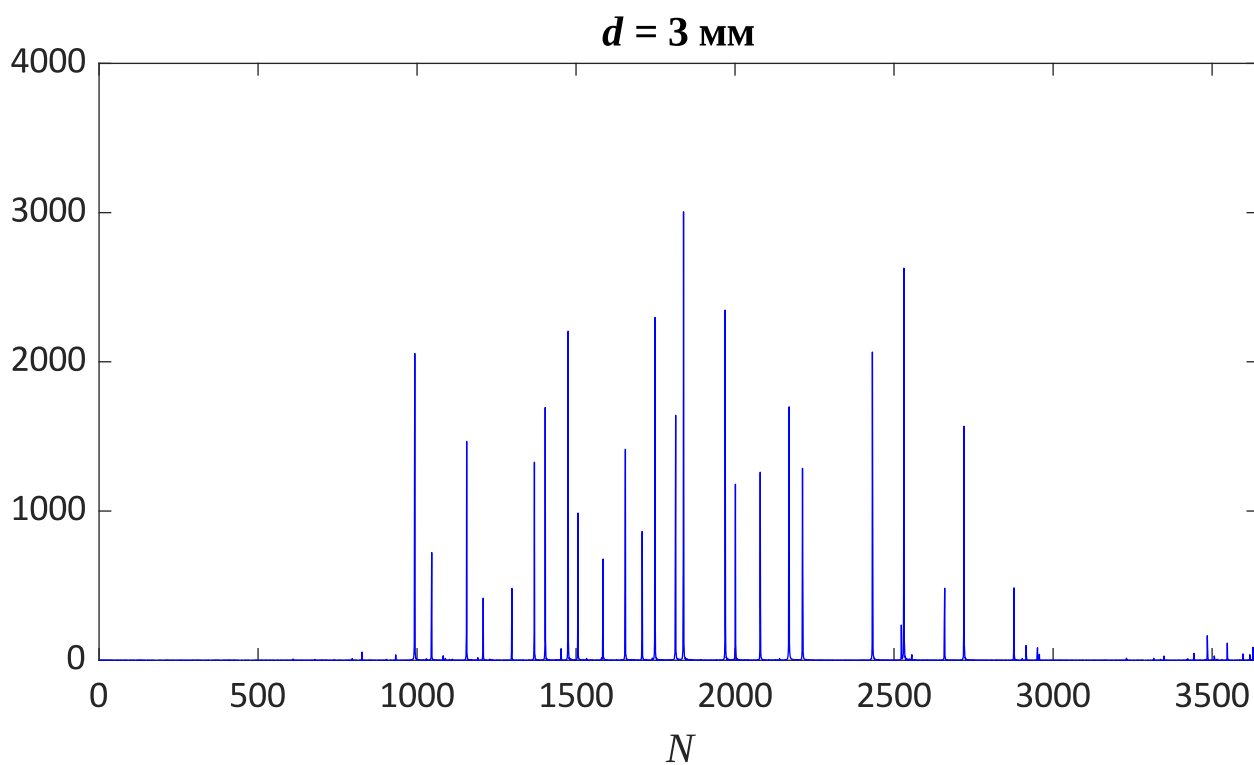
## Порядок измерений

- Запускаем программу «Spectral Page». Устанавливаем минимальный диаметр диафрагмы. Включаем лампу и запускаем измерения. Устанавливаем такое время накопления, при котором наибольшая измеряемая интенсивность не выходит за предел измерений прибора.
- Выключаем лампу и измеряем шум для вычитания из последующих измерений. Поворачивая фотоэлектрическую кассету, добиваемся такого её положения, при котором интенсивность крайних длин волн (слева и справа) синхронно изменяется во время перемещения объектива камеры. Снимаем полученное значение угла поворота кассеты.
- Далее подбираем такое положение объектива камеры, при котором измеряемая интенсивность максимальна. Подбираем соответствующее время накопления.
- Теперь спектрограф сфокусирован, и можно непосредственно переходить к измерению спектра. Устанавливаем программу в режим усреднения по 100 кадрам и, выключив лампу, снова измеряем шум. Включаем лампу и измеряем спектр для трёх диаметров диафрагмы: 3 мм, 10 мм, 30 мм.

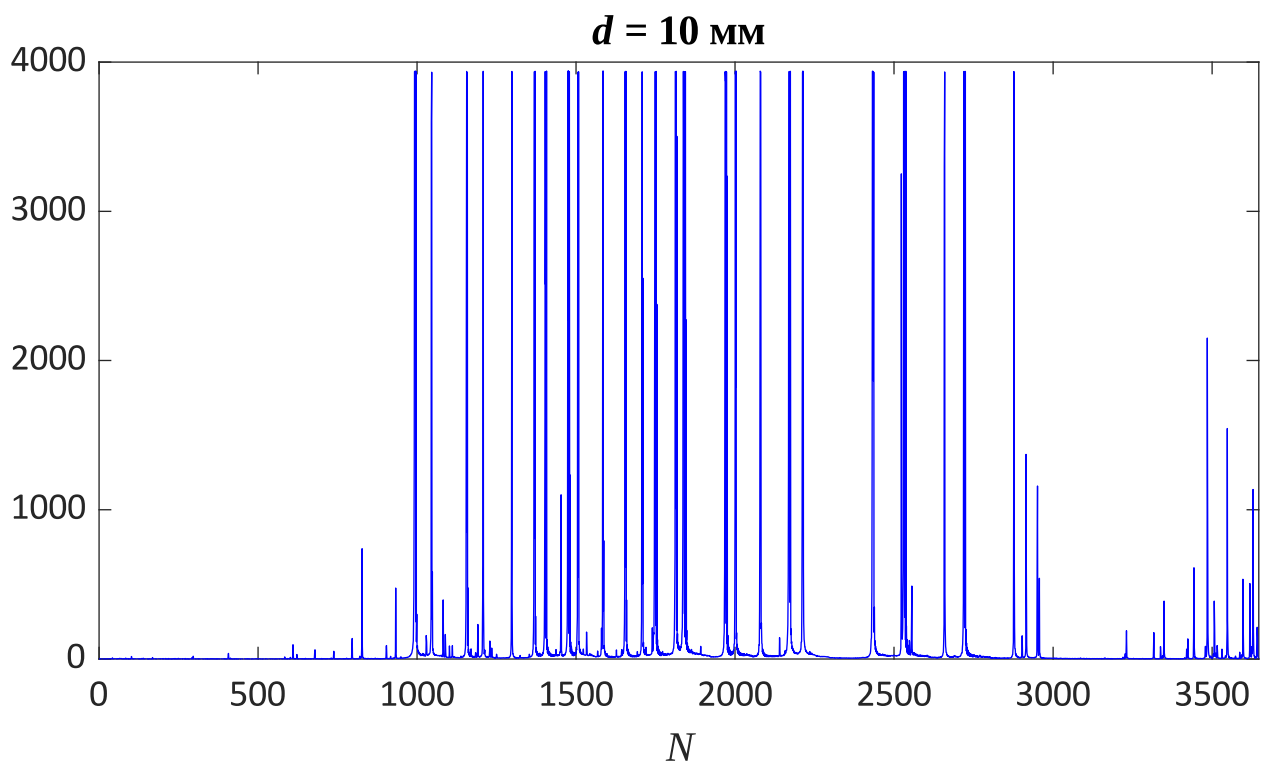
## Результаты

Примечание: построение графиков и аппроксимация зависимостей выполнены с помощью ПО MATLAB.

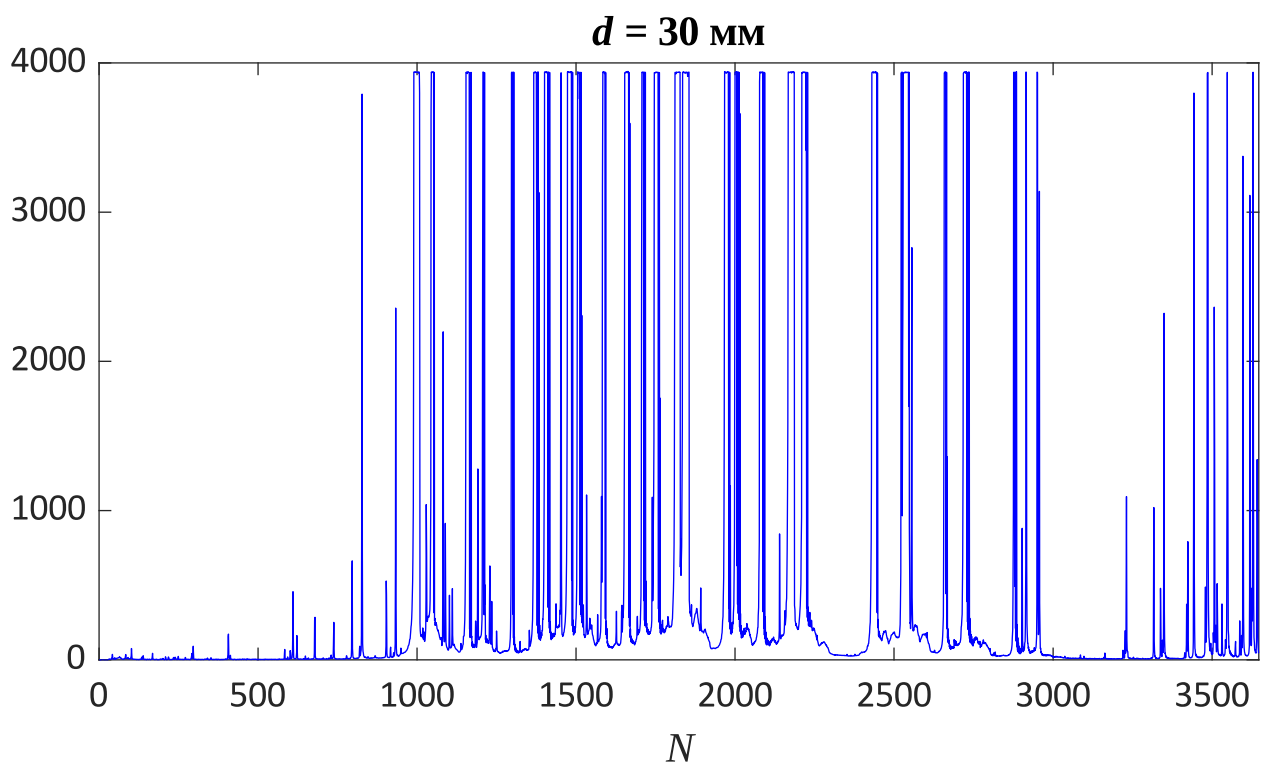
- Ширина щели спектрографа: 6 мкм;
- Угол поворота фотоэлектрической кассеты: 12.6°;
- Время накопления: 100 мс.



**График 1.** Спектр излучения неоновой лампы при диаметре диафрагмы 3 мм



**График 2.** Спектр излучения неоновой лампы при диаметре диафрагмы 10 мм



**График 3.** Спектр излучения неоновой лампы при диаметре диафрагмы 30 мм

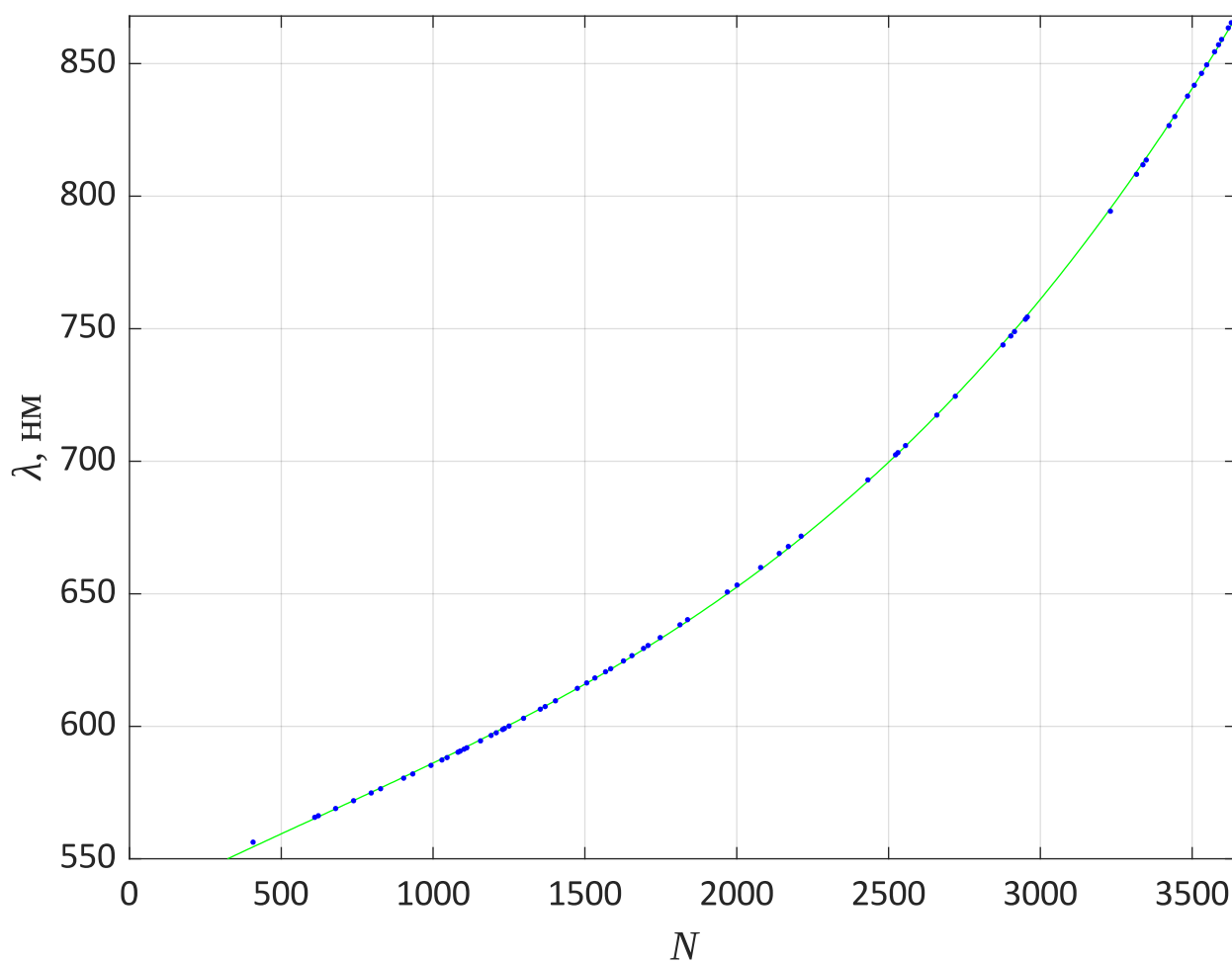
Фокусировка спектрографа была проведена успешно: спектр получился дискретным, а максимумы интенсивностей чётко совпали с определёнными пикселями ПЗС-линейки. Теперь сравним полученный спектр с атласом и сопоставим пиксели ПЗС-линейки с длинами волн.

**Таблица. Спектральные линии неона**

| $N$  | $\lambda$ , нм | $x$ , мм | $\Delta\lambda$ , нм | $\Delta x$ , мм | $\langle\lambda\rangle$ , нм | $L$ , нм/мм |
|------|----------------|----------|----------------------|-----------------|------------------------------|-------------|
| 407  | 556.277        | 3.256    | 9.389                | 1.624           | 560.972                      | 5.781       |
| 610  | 565.666        | 4.880    | 0.589                | 0.096           | 565.961                      | 6.135       |
| 622  | 566.255        | 4.976    | 2.727                | 0.456           | 567.619                      | 5.980       |
| 679  | 568.982        | 5.432    | 2.941                | 0.472           | 570.453                      | 6.231       |
| 738  | 571.923        | 5.904    | 2.907                | 0.464           | 573.377                      | 6.265       |
| 796  | 574.830        | 6.368    | 1.612                | 0.248           | 575.636                      | 6.500       |
| 827  | 576.442        | 6.616    | 4.003                | 0.608           | 578.444                      | 6.584       |
| 903  | 580.445        | 7.224    | 1.571                | 0.240           | 581.231                      | 6.546       |
| 933  | 582.016        | 7.464    | 3.233                | 0.480           | 583.633                      | 6.735       |
| 993  | 585.249        | 7.944    | 2.034                | 0.288           | 586.266                      | 7.062       |
| 1029 | 587.283        | 8.232    | 0.907                | 0.136           | 587.737                      | 6.669       |
| 1046 | 588.190        | 8.368    | 2.056                | 0.288           | 589.218                      | 7.139       |
| 1082 | 590.246        | 8.656    | 0.397                | 0.056           | 590.445                      | 7.089       |
| 1089 | 590.643        | 8.712    | 0.720                | 0.104           | 591.003                      | 6.923       |
| 1102 | 591.363        | 8.816    | 0.528                | 0.072           | 591.627                      | 7.333       |
| 1111 | 591.891        | 8.888    | 2.592                | 0.360           | 593.187                      | 7.200       |
| 1156 | 594.483        | 9.248    | 2.064                | 0.280           | 595.515                      | 7.371       |
| 1191 | 596.547        | 9.528    | 1.006                | 0.136           | 597.050                      | 7.397       |
| 1208 | 597.553        | 9.664    | 1.238                | 0.168           | 598.172                      | 7.369       |
| 1229 | 598.791        | 9.832    | 0.374                | 0.048           | 598.978                      | 7.792       |
| 1235 | 599.165        | 9.880    | 0.928                | 0.120           | 599.629                      | 7.733       |
| 1250 | 600.093        | 10.000   | 2.907                | 0.384           | 601.547                      | 7.570       |
| 1298 | 603.000        | 10.384   | 3.454                | 0.440           | 604.727                      | 7.850       |
| 1353 | 606.454        | 10.824   | 0.980                | 0.128           | 606.944                      | 7.656       |
| 1369 | 607.434        | 10.952   | 2.182                | 0.272           | 608.525                      | 8.022       |
| 1403 | 609.616        | 11.224   | 4.690                | 0.576           | 611.961                      | 8.142       |
| 1475 | 614.306        | 11.800   | 2.053                | 0.248           | 615.333                      | 8.278       |
| 1506 | 616.359        | 12.048   | 1.856                | 0.216           | 617.287                      | 8.593       |
| 1533 | 618.215        | 12.264   | 2.363                | 0.280           | 619.397                      | 8.439       |
| 1568 | 620.578        | 12.544   | 1.150                | 0.136           | 621.153                      | 8.456       |
| 1585 | 621.728        | 12.680   | 2.945                | 0.336           | 623.201                      | 8.765       |
| 1627 | 624.673        | 13.016   | 1.977                | 0.224           | 625.662                      | 8.826       |
| 1655 | 626.650        | 13.240   | 2.724                | 0.304           | 628.012                      | 8.961       |
| 1693 | 629.374        | 13.544   | 1.105                | 0.120           | 629.927                      | 9.208       |
| 1708 | 630.479        | 13.664   | 2.964                | 0.320           | 631.961                      | 9.262       |
| 1748 | 633.443        | 13.984   | 4.856                | 0.520           | 635.871                      | 9.338       |
| 1813 | 638.299        | 14.504   | 1.926                | 0.200           | 639.262                      | 9.630       |
| 1838 | 640.225        | 14.704   | 10.428               | 1.048           | 645.439                      | 9.950       |

| $N$  | $\lambda$ , нм | $x$ , мм | $\Delta\lambda$ , нм | $\Delta x$ , мм | $\langle\lambda\rangle$ , нм | $\Lambda$ , нм/мм |
|------|----------------|----------|----------------------|-----------------|------------------------------|-------------------|
| 1969 | 650.653        | 15.752   | 2.635                | 0.256           | 651.971                      | 10.293            |
| 2001 | 653.288        | 16.008   | 6.607                | 0.624           | 656.592                      | 10.588            |
| 2079 | 659.895        | 16.632   | 5.314                | 0.488           | 662.552                      | 10.889            |
| 2140 | 665.209        | 17.120   | 2.619                | 0.240           | 666.519                      | 10.913            |
| 2170 | 667.828        | 17.360   | 3.876                | 0.336           | 669.766                      | 11.536            |
| 2212 | 671.704        | 17.696   | 21.243               | 1.760           | 682.326                      | 12.070            |
| 2432 | 692.947        | 19.456   | 9.458                | 0.728           | 697.676                      | 12.992            |
| 2523 | 702.405        | 20.184   | 0.836                | 0.064           | 702.823                      | 13.063            |
| 2531 | 703.241        | 20.248   | 2.670                | 0.200           | 704.576                      | 13.350            |
| 2556 | 705.911        | 20.448   | 11.483               | 0.824           | 711.653                      | 13.936            |
| 2659 | 717.394        | 21.272   | 7.123                | 0.488           | 720.956                      | 14.596            |
| 2720 | 724.517        | 21.760   | 19.373               | 1.256           | 734.204                      | 15.424            |
| 2877 | 743.890        | 23.016   | 3.354                | 0.208           | 745.567                      | 16.125            |
| 2903 | 747.24         | 23.224   | 1.643                | 0.096           | 748.066                      | 17.115            |
| 2915 | 748.887        | 23.320   | 4.690                | 0.288           | 751.232                      | 16.285            |
| 2951 | 753.577        | 23.608   | 0.827                | 0.048           | 753.991                      | 17.229            |
| 2957 | 754.404        | 23.656   | 39.914               | 2.192           | 774.361                      | 18.209            |
| 3231 | 794.318        | 25.848   | 13.928               | 0.688           | 801.282                      | 20.244            |
| 3317 | 808.246        | 26.536   | 3.609                | 0.168           | 810.051                      | 21.482            |
| 3338 | 811.855        | 26.704   | 1.786                | 0.088           | 812.748                      | 20.295            |
| 3349 | 813.641        | 26.792   | 12.967               | 0.600           | 820.125                      | 21.612            |
| 3424 | 826.608        | 27.392   | 3.425                | 0.152           | 828.321                      | 22.533            |
| 3443 | 830.03         | 27.544   | 7.728                | 0.336           | 833.897                      | 23.000            |
| 3485 | 837.761        | 27.880   | 4.082                | 0.176           | 839.802                      | 23.193            |
| 3507 | 841.843        | 28.056   | 4.493                | 0.192           | 844.090                      | 23.401            |
| 3531 | 846.336        | 28.248   | 3.200                | 0.136           | 847.936                      | 23.529            |
| 3548 | 849.536        | 28.384   | 4.934                | 0.208           | 852.003                      | 23.721            |
| 3574 | 854.470        | 28.592   | 2.665                | 0.104           | 855.803                      | 25.625            |
| 3587 | 857.135        | 28.696   | 1.991                | 0.080           | 858.131                      | 24.887            |
| 3597 | 859.126        | 28.776   | 4.339                | 0.176           | 861.296                      | 24.653            |
| 3619 | 863.465        | 28.952   | 1.973                | 0.080           | 864.452                      | 24.662            |
| 3629 | 865.438        | 29.032   | 2.511                | 0.104           | 866.694                      | 24.144            |
| 3642 | 867.949        | 29.136   | —                    | —               | —                            | —                 |

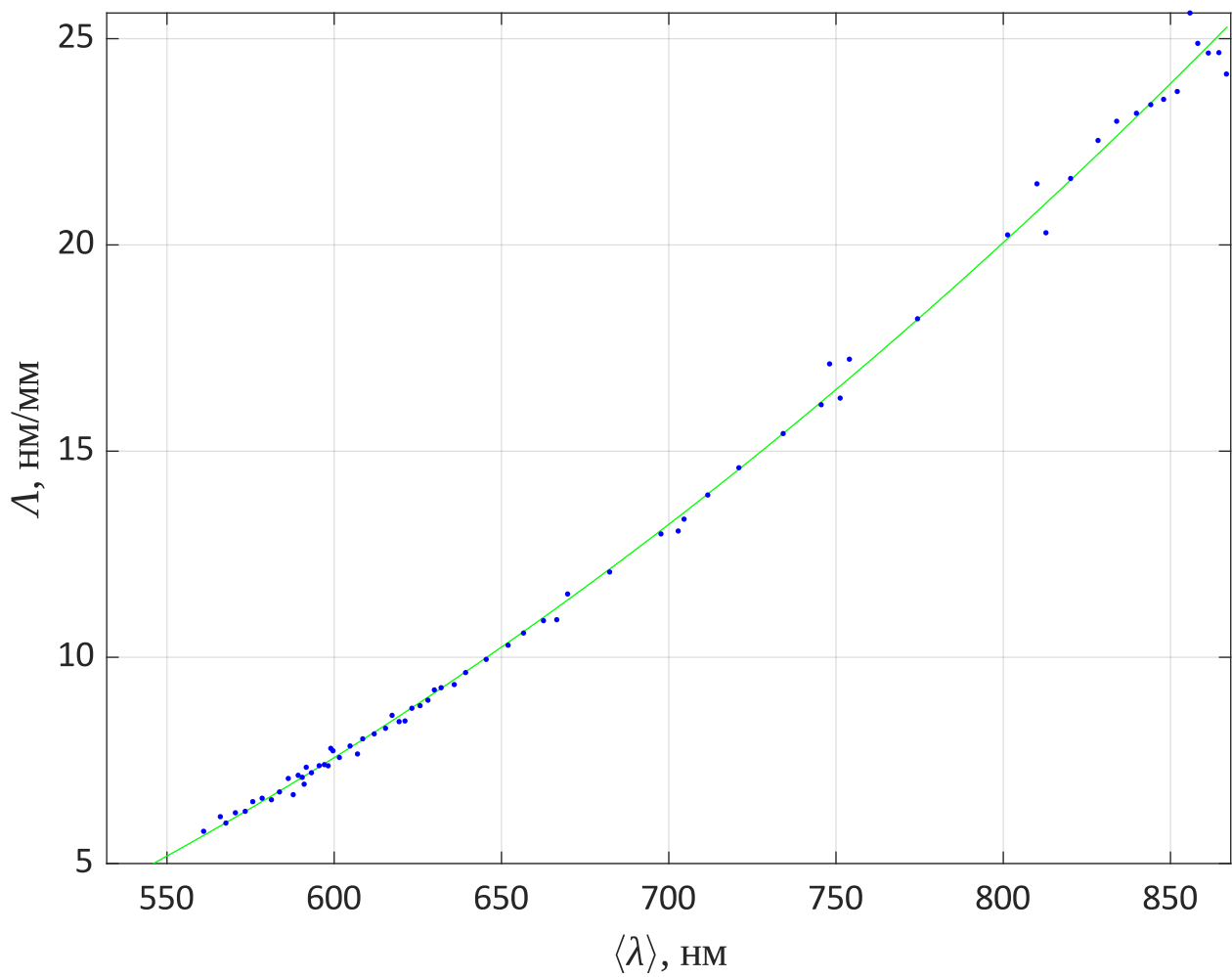
Всего удалось выделить 71 линий спектра.



**График 4.** Градуировочная кривая спектрального прибора

Зависимость  $\lambda(N)$  успешно аппроксимируется полиномом 3-го порядка.  
Уравнение аппроксимирующего полинома:

$$y = 5.006 \cdot 10^{-9}x^3 - 8.907 \cdot 10^{-6}x^2 + 0.05803x + 532.0$$



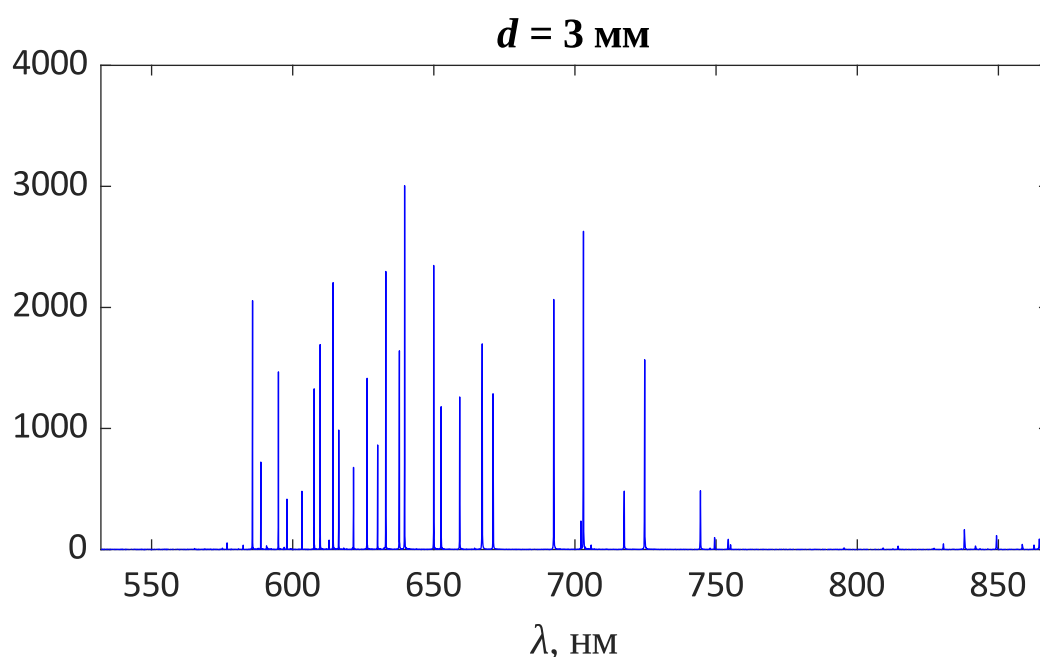
**График 5.**

*Зависимость обратной линейной дисперсии прибора от длины волны*

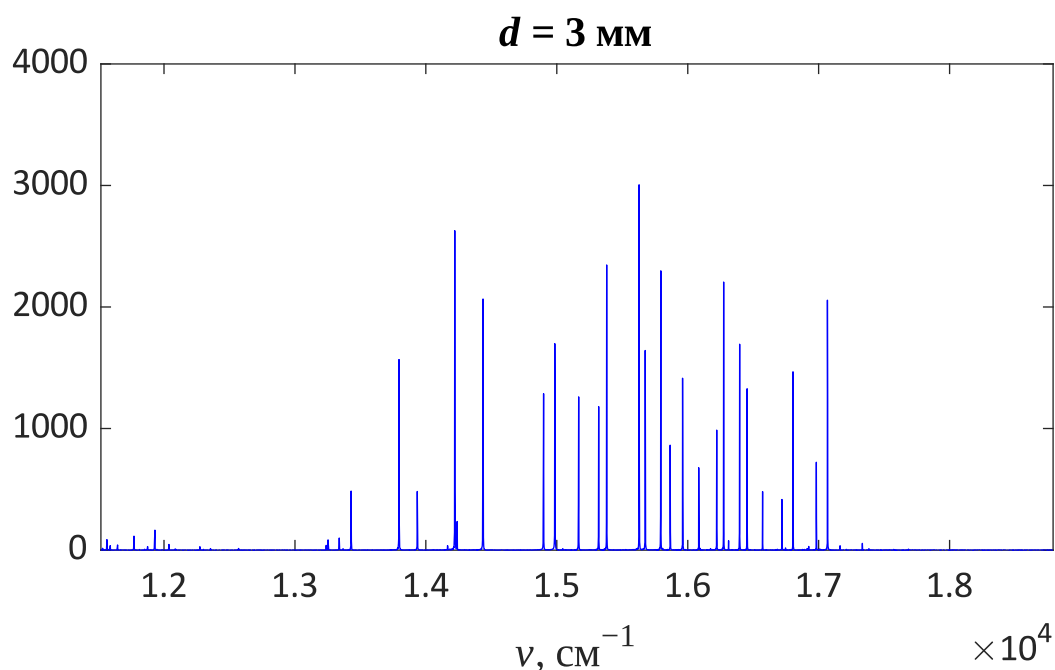
Зависимость  $\Delta(\langle \lambda \rangle)$  успешно аппроксимируется полиномом 2-го порядка.  
Уравнение аппроксимирующего полинома:

$$y = 5.886 \cdot 10^{-5} x^2 - 0.01996x - 1.646$$





**График 6.** Спектр излучения неоновой лампы по длинам волн при диаметре диафрагмы 3 мм



**График 7.** Спектр излучения неоновой лампы по волновым числам при диаметре диафрагмы 3 мм

Спектр по  $\nu$  перевёрнут относительно спектра по  $\lambda$ , а также расположен немного ближе к центру. Помимо этого, расстояние между соседними линиями немного увеличилось.

## Выводы

В ходе работы была успешно проведена фокусировка спектрографа. Всего удалось зафиксировать 71 спектральных линий. Длины волн распределены по ПЗС-линейке неравномерно.