

# ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1.33

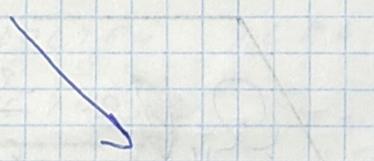
Тема работы: "Дополнительные вязкости  
воздуха по споросу течения через  
тонкие трубы"

Цель работы: экспериментально выявить  
участок сформированного течения, опреде-  
ляя расстояния ламинарного и турбулентного  
течения, определяя число Рейнольдса

Оборудование: метал. трубки, Укреп. на горизонте.  
поставка, газовый счетчик, микро манометр  
типа ММН, стекл. U-образный трубка,  
секундомер

Теоретический материал:

движение воздуха жидкости или газа  
по трубке круглого сеч.



Ламинарное (слойчатое)

- при малых скоростях
- скорость частиц  
меньшая по радиусу
- споросу частиц  
на правлены вдоль  
оси трубы

Турбулентное (слой неодн.)

- с увеличением  
скорости потока
- скорость в наимен  
тойке близко края  
величину и направление  
сокращ. только сред.  
велич. споросу

Число Рейнольдса определяет  
характер движения газа (или жидкости)

в трубе:

$$Re = \frac{\rho r v}{\eta}$$

Re - скор. потока  
r - радиус трубы  
 $\rho$  - плотность газа,  
среды  
 $\eta$  - вязкость газа  
среды

1) В гладких трубах круглого сечения переход от ламинарного и турбулентному происходит при  $Re \approx 1000$  (1)

Формула Пуазейля определяет объем газа  $V$ , прошедший за время  $t$  по трубе длиной  $L$

при ламинарном течении

$$Q_v = \frac{\pi r^4}{8 L \eta} (P_1 - P_2), \text{ где } P_1 - P_2 - \text{ разница давления в двух выбранных сечениях}$$

~~давления~~  
L - расстояние между выбранными сечениями

$Q$  - расход

т.е. формула Пуазейля позволяет определить вязкость газа по его расходу

! Вид спиралей в восточных формулами

1)  $Re < 1000$

2) Чем. угол. У близко не скручив.

(раз. кривизна - пологая спираль)

3) Газ: передача вязкости в трубе  $\ll$  передача вязкости в среде

3) Закон распределения скорости газа по сечению не меняется вдоль трубы!

При вязкой газа в трубе из

большого резервуара скорость скрёб

вдоль посторони по своему сечению.

По шире проходящий газ по

грубые распределение скорости меняется, т.к. сила трения о стенку тормозят прик. слоя.

Характерное для ламинар. течения

парabolich. распред. скорости установл.

на некотором расстоянии  $\alpha$ :

$$\left[ \alpha \approx 0,2 r \cdot Re \right], \text{ где } Re - \text{ число Рейнольдса}$$

r - радиус трубы  
Re - число Рейнольдса

! Эта формула дает возможность

оценить виду участка формирования,

т.е. вид крив. эволюции течения

различных участков трубы,

т.е. различия в вязкости на участке

формирования потока она будет

больше, чем на участке схоже уставившись, ламинар. течения!

### X08 PABOTbi:

$$P_{\text{сайра}} = 0,805 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} = 805 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$t = 26^\circ\text{C}$

$$\text{I ТРУБКА: } \alpha = 0,2 \cdot \frac{d}{2} \cdot 1000 = 200 \text{ mm} = 20 \text{ cm}$$

N	V, m	t, C	Δh, cm
1	0,5	11,2	12,1
2	0,5	11,8	11,9
3	0,5	11,9	11,6
4	0,5	12,1	11,3
5	0,5	12,8	10,4
6	0,5	14,3	9,5
7	0,5	15	8,4

$$d = 0,002 \text{ m}$$

$$\text{II ТРУБКА: } \alpha = 0,2 \cdot \frac{d}{2} \cdot 1000 = 300 \text{ mm} = 30 \text{ cm}$$

N	V, m	t, C	Δh, cm
1	0,5	3,2	9,6
2	0,5	5,3	9,4
3	0,5	5,5	8,5
4	0,5	5,7	7,6
5	0,5	6	6,9
6	0,5	7,1	4,1
7	0,5	10,6	3,6

$$d = 0,003 \text{ m}$$

N	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6
$\Delta h, \text{cm}$	5	35	20	20	20
$\Delta h, \text{m}$	0,05	0,35	0,2	0,2	0,2

труба  $t_{\text{MAX}} = 11,2 \text{ C}$

$$Q = \frac{0,5 \text{ m}}{11,2 \text{ C}} \approx 0,045 \frac{\text{m}}{\text{C}} = 4,5 \cdot 10^{-5} \frac{\text{m}^3}{\text{C}}$$

III ТРУБА:  $a = 0,2 \cdot \frac{d}{2} \cdot 1000 = 400 \text{ mm} = 40 \text{ cm}$

N	V, m	t, C	Δh, cm
1	1	6,2	6,9
2	1	6,5	5,9
3	1	6,8	5,2
4	1	7,7	3,4
5	1	8,2	2,4
6	1	9,1	1,5
7	1	10,7	1,4

N	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6
$\Delta h, \text{cm}$	10	25	20	20	20
$\Delta h, \text{m}$	0,1	0,25	0,2	0,2	0,2

труба  $t_{\text{MAX}} = 6,2 \text{ C}$

$$Q = \frac{1 \text{ m}}{6,2 \text{ C}} \approx 0,16 \frac{\text{m}}{\text{C}} = 1,6 \cdot 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{C}}$$

$$d = 0,003 \text{ m}$$

29.02.2023 Friday

### Обработка результатов:

#### Пасечные формулы:

$$Q_i = \frac{\Delta V}{\Delta t_i}, \quad i = 1, 2, \dots, 7$$

$$\Delta P_i = \rho g \Delta h$$

МНК I:

$$\Delta P = \frac{g L \cdot y}{\pi r^4} \cdot Q + b$$

$$k = \frac{g L \cdot y}{\pi r^4} \Rightarrow y = \frac{k \ln r^4}{g L}$$

$$\Rightarrow b_2 = y \sqrt{\left(\frac{b_k}{k}\right)^2 + \left(\frac{b_L}{L}\right)^2}$$

$$k = \frac{\pi r^4 - \bar{x} \cdot \bar{y}}{\bar{n}^2 - (\bar{x})^2}$$

$$b_k = \frac{1}{\bar{n}^2} \sqrt{\frac{\bar{y}^2 - (\bar{y})^2}{\bar{n}^2 - (\bar{x})^2} - k^2}$$

$$b_b = b_k \sqrt{\bar{x}^2 - (\bar{x})^2}$$

Число Рейнольдса:

$$Re = \frac{\rho v D}{\mu}$$

$$\sqrt{D} = \frac{Q}{\pi r^2}, \quad \rho = \frac{P}{RT}$$

$$\Rightarrow Re = \frac{\rho v Q}{\pi r^2 \mu T}$$

PAC4ETB1 A1SL

I ТРУБА 44'

N	1	2	3	4	5	6	7
$\Delta p, \text{Pa}$	956	980	916	892	821	750	663
$Q, \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$	0,045	0,042	0,042	0,041	0,039	0,038	0,033
$a, \frac{\text{m}^3}{\text{C}}$	$3,5 \cdot 10^{-5}$	$3,2 \cdot 10^{-5}$	$4,1 \cdot 10^{-5}$	$3,7 \cdot 10^{-5}$	$3,5 \cdot 10^{-5}$	$3,8 \cdot 10^{-5}$	

MHK I:

$$\bar{x} = 4 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{\text{m}^3}{\text{C}}$$

$$\bar{y} = 848,4 \text{ Pa}$$

$$\bar{xy} = 0,034 \cdot \frac{\text{m}^3}{\text{C}} \cdot \text{Pa}$$

$$\bar{x^2} = 1,6 \cdot 10^{-9} \cdot \frac{\text{m}^6}{\text{C}^2}$$

$$k = 25167929 \frac{1}{\text{m} \cdot \text{C}} \quad \delta_k = 2248520 \frac{1}{\text{m} \cdot \text{C}}$$

$$b = -158 \text{ Pa}$$

$$\delta_b = 89 \text{ Pa}$$

$$f = 25167929 x - 158$$

$$\bar{y} = 2,97 \cdot 10^{-5} \text{ Pa} \cdot \text{C}$$

$$\delta_y = 4,2 \cdot 10^{-6} \text{ Pa} \cdot \text{C}$$

$$\bar{b} = 2,97 \cdot 10^{-5} \pm 0,22 \cdot 10^{-5} \text{ Pa} \cdot \text{C}$$

MHK II:

N	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6
$\Delta h, \text{m}$	0,05	0,35	0,2	0,2	0,22
$\Delta p, \text{Pa}$	103	837	482	458	482

$$k = 2948 \frac{1}{\text{m} \cdot \text{C}}$$

$$b = -17 \text{ Pa}$$

$$\bar{x} = 0,2 \text{ m}$$

$$\bar{y} = 472 \text{ Pa}$$

$$\bar{xy} = 116 \text{ m} \cdot \text{Pa}$$

$$\bar{x^2} = 0,05 \text{ m}^2$$

$$\delta_k = 59 \frac{1}{\text{m} \cdot \text{C}}$$

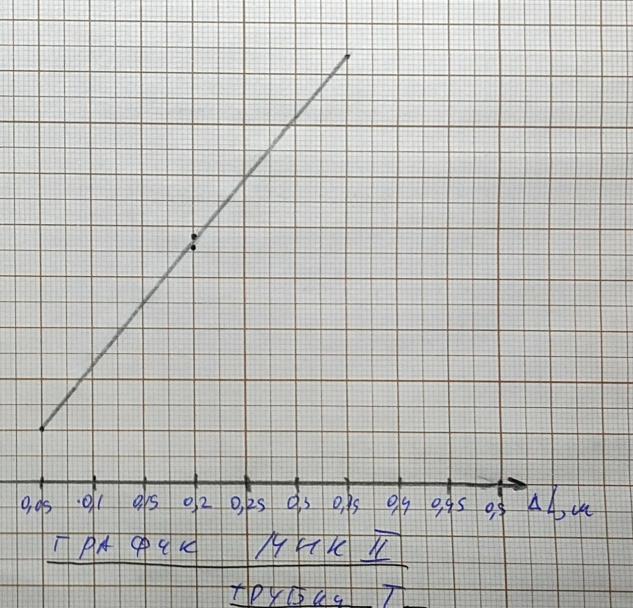
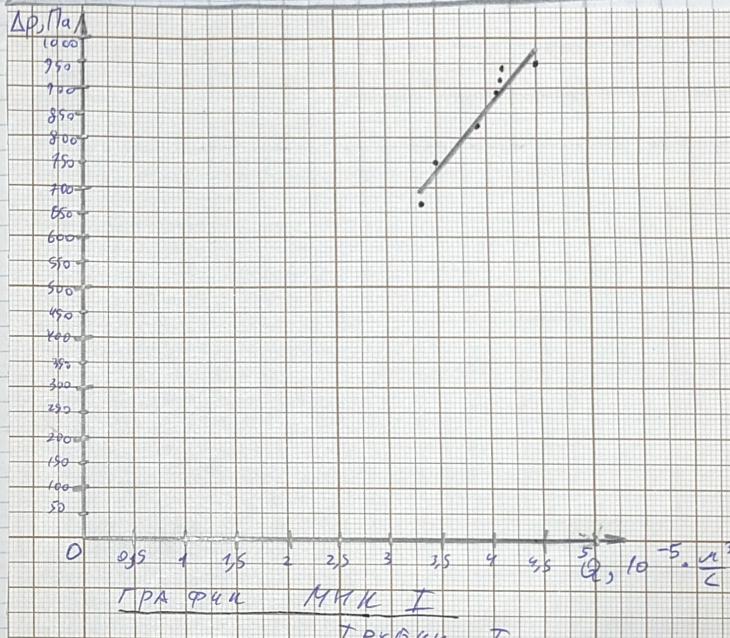
$$\delta_b = 72 \text{ Pa}$$

$$\bar{y} = 2,15 \cdot 10^{-5} \text{ Pa} \cdot \text{C}$$

$$\delta_y = 4,7 \cdot 10^{-7} \text{ Pa} \cdot \text{C}$$

$$f = 2948 x - 17$$

$$\bar{b} = 2,15 \cdot 10^{-5} \pm 0,05 \cdot 10^{-5} \text{ Pa} \cdot \text{C}$$



Расчеты для II тягоби

МНК I

N	1	2	3	4	5	6	7
$\Delta p, \text{Pa}$	758	792	671	600	482	324	205
$\bar{Q}, \frac{\text{л}}{\text{с}}$	0,96	0,94	0,91	0,88	0,83	0,7	0,47
$Q, \frac{\text{л}}{\text{с}}$	$7,6 \cdot 10^{-5}$	$9,1 \cdot 10^{-5}$	$8,8 \cdot 10^{-5}$	$8,3 \cdot 10^{-5}$	$7 \cdot 10^{-5}$	$4,9 \cdot 10^{-5}$	

$$\bar{x} = 8 \cdot 10^{-5} \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$$

$$\bar{y} = 540,9 \text{ Па}$$

$$\bar{y}_g = 0,047 \frac{\text{м}^3}{\text{с}} \cdot \text{Па}$$

$$\bar{x}^2 = 6,4 \cdot 10^{-10} \frac{\text{м}^6}{\text{с}^2}$$

$$k = 11668018 \frac{1}{\text{м} \cdot \text{с}}$$

$$b = -393 \text{ Па}$$

$$y = 11668018x - 393$$

$$y = 3,9 \cdot 10^{-5} \text{ Па} \cdot \text{с}$$

$$\delta_y = 5,3 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с}$$

~~МНК I~~

$$\boxed{y = 3,9 \cdot 10^{-5} \pm 0,5 \cdot 10^{-5} \text{ Па} \cdot \text{с}}$$

МНК II

N	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6
$\Delta L, \text{м}$	0,1	0,3	0,2	0,2	0,2
$\Delta p, \text{Pa}$	150	549	403	363	271

$$k = 1974 \frac{1}{\text{м} \cdot \text{с}}$$

$$b = -28 \text{ Па}$$

$$\bar{x} = 0,2 \text{ м}$$

$$\bar{y} = 366 \text{ Па}$$

$$\bar{y}_g = 81 \text{ м} \cdot \text{Па}$$

$$\bar{x}^2 = 0,04 \text{ м}^2$$

$$\delta_k = 18,5 \frac{1}{\text{м} \cdot \text{с}}$$

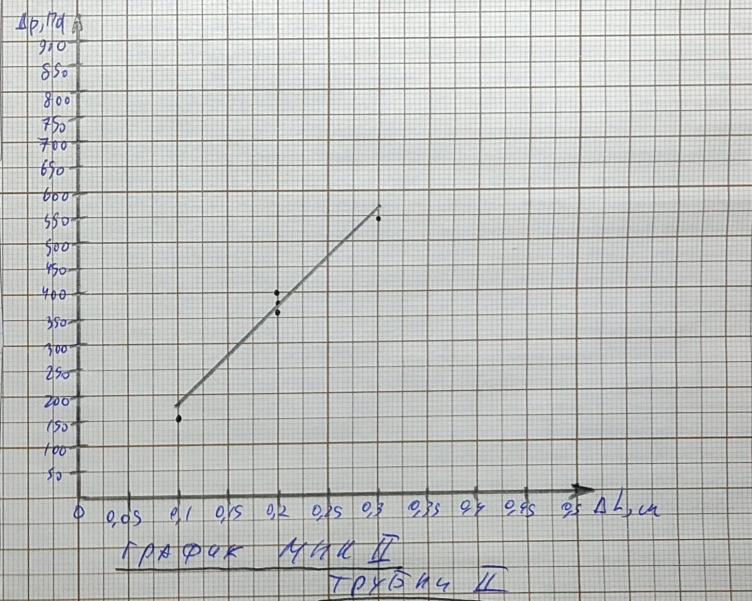
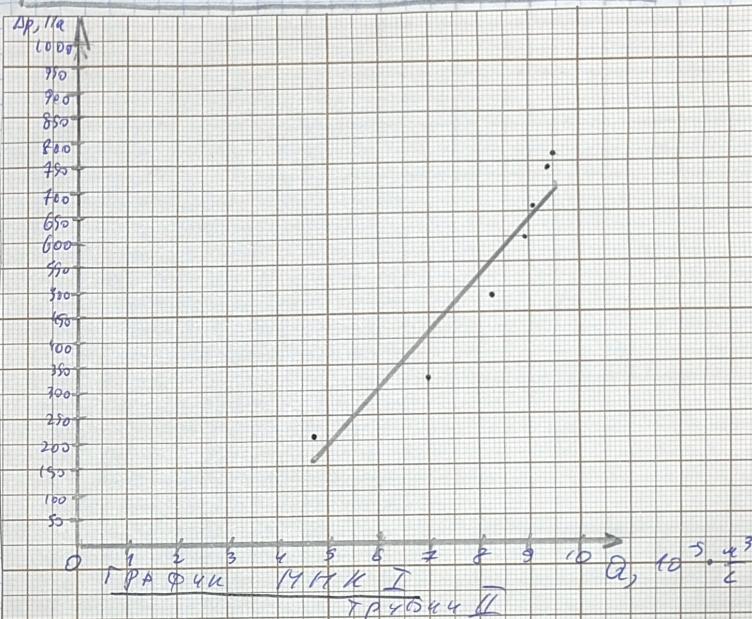
$$\delta_b = 39 \text{ Па}$$

$$y = 4,08 \cdot 10^{-5} \text{ Па} \cdot \text{с}$$

$$\delta_y = 3,8 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с}$$

$$y = 1974x - 28$$

$$\boxed{y = 4,08 \cdot 10^{-5} \pm 0,38 \cdot 10^{-5} \text{ Па} \cdot \text{с}}$$



РАСЧЕТЫ РАХ III ТРУБЫ

МНК I

N	1	2	3	4	5	6	7
$\Delta P, Pa$	545	966	44	269	190	118	111
$Q, \frac{m^3}{s}$	0,16	0,15	0,15	0,13	0,12	0,11	0,09
$Q, \frac{m^3}{s}$	$1,6 \cdot 10^{-4}$	$1,5 \cdot 10^{-4}$	$1,5 \cdot 10^{-4}$	$1,3 \cdot 10^{-4}$	$1,2 \cdot 10^{-4}$	$1,1 \cdot 10^{-4}$	$9,9 \cdot 10^{-5}$

$$\bar{n} = 1,5 \cdot 10^{-4} \frac{m^3}{s}$$

$$\bar{y} = 301 \text{ Pa}$$

$$\bar{x}_g = 0,04 \frac{m^3}{s} \cdot 10^6$$

$$\bar{n}^2 = 1,6 \cdot 10^{-8} \frac{m^6}{s^2}$$

$$k = 6837472 \frac{1}{m \cdot s}$$

$$b = -588 \text{ Pa}$$

$$y = 6837472 x - 588$$

$$y = 5,4 \cdot 10^{-5} \text{ Pa} \cdot s$$

$$b_1 = 6 \cdot 10^{-6} \text{ Pa} \cdot s$$

$$y = 5,4 \cdot 10^{-5} \pm 0,6 \cdot 10^{-5} \text{ Pa} \cdot s$$

МНК II

N	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6
$\Delta P, Pa$	0,1	0,25	0,2	0,2	0,2
$\Delta P, Pa$	111	276	245	324	48

$$k = 1125 \frac{1}{m \cdot s}$$

$$b = 111 \text{ Pa}$$

$$\bar{n} = 0,19 \text{ m}$$

$$\bar{y} = 215 \text{ Pa}$$

$$\bar{x}_g = 43,5 \text{ m} \cdot 10^6$$

$$\bar{n}^2 = 0,04 \text{ m}^2$$

$$k = 773 \frac{1}{m \cdot s}$$

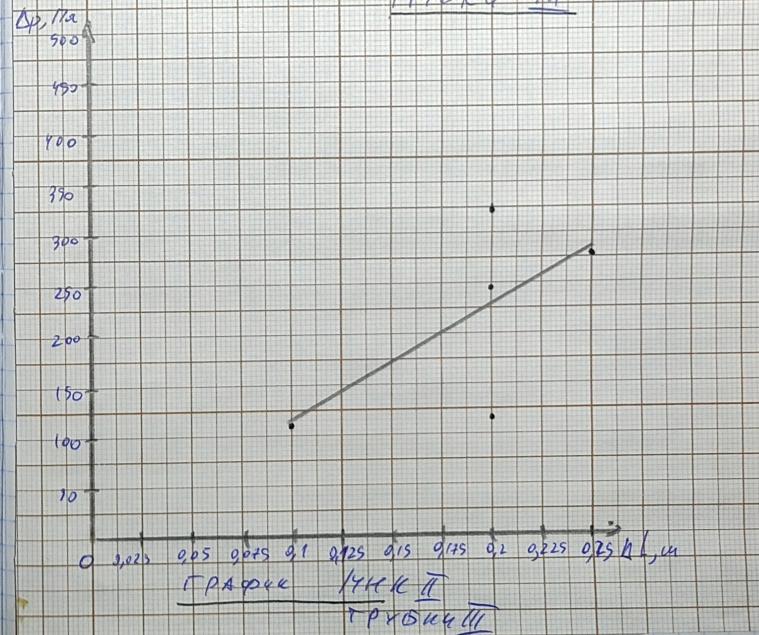
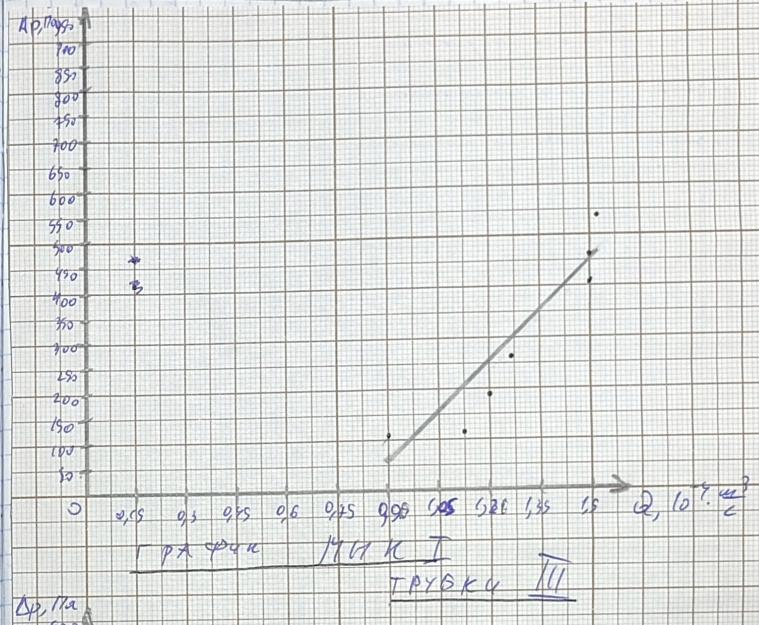
$$b = 152 \text{ Pa}$$

$$y = 4,4 \cdot 10^{-5} \text{ Pa} \cdot s$$

$$b_2 = 3 \cdot 10^{-5} \text{ Pa} \cdot s$$

$$y = 4,4 \cdot 10^{-5} \pm 3,0 \cdot 10^{-5} \text{ Pa} \cdot s$$

$$y = 1125 x + f$$



Дасырт қуында Рейнольдса пішілік  
көмегімен үйнестік тұрбок

$$Re = \frac{Q P_{0030}}{\pi r \nu}, \text{ при } T=300 \text{ K}$$

$$P_{0030} = 101325 \frac{kg}{m^3}$$

Tұрбок I:

N	1	2	3	4	5	6	7	
Y <sub>43</sub> МНК I:	Re	673	628	628	613	583	525	499
Y <sub>43</sub> МНК II:	Re	772	721	721	709	669	601	566

Tұрбок II:

N	1	2	3	4	5	6	7	
Y <sub>43</sub> МНК I:	Re	612	599	580	561	529	496	300
Y <sub>43</sub> МНК II:	Re	580	567	549	531	501	422	405

Tұрбок III:

N	1	2	3	4	5	6	7	
Y <sub>43</sub> МНК I:	Re	594	530	506	497	420	379	220
Y <sub>43</sub> МНК II:	Re	629	619	620	548	514	464	392

Построение графика зависимости

$$Q = F(p)$$

В диаметром портупеи. масштабе

$$r^n = \frac{8 \ln Q}{\pi \Delta p}$$

$$\ln(r^n) = \ln\left(\frac{8 \ln Q}{\pi \Delta p}\right)$$

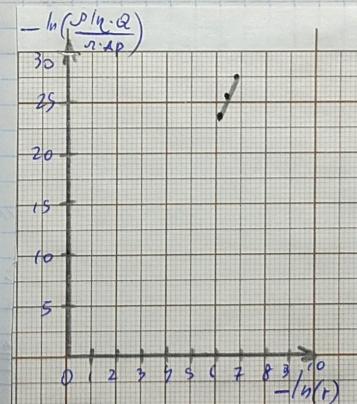
$$\ln(\ln(r)) = \ln\left(\frac{8 \ln Q}{\pi \Delta p}\right)$$

$$n = \frac{\ln\left(\frac{8 \ln Q}{\pi \Delta p}\right)}{\ln(r)}$$

$$Z_n = n \sqrt{\left(\frac{b_L}{L}\right)^2 + \left(\frac{b_n}{n}\right)^2}$$

Tұрбок	U, м	b <sub>n</sub>	b <sub>L</sub> , м	V <sub>u</sub> , м/с	t <sub>max</sub>	ΔP, Pa	Q, м <sup>3</sup> /с	ln(f <sub>r</sub> )	ln(Q/b <sub>L</sub> )	n	b <sub>n</sub>
T <sub>p.</sub> I	0,001	0,4	2,5·10 <sup>-5</sup>	0,0005	11,2	663	33·10 <sup>-5</sup>	-6,9	-2,9	3,97	6 <sub>n</sub> = 0,77
T <sub>p.</sub> II	0,0015	0,4	3,9·10 <sup>-5</sup>	0,0005	5,2	205	4,7·10 <sup>-5</sup>	-6,5	-2,9	3,91	6 <sub>4</sub> = 0,23
T <sub>p.</sub> III	0,002	0,4	5,4·10 <sup>-5</sup>	0,001	6,2	111	9,3·10 <sup>-5</sup>	-6,2	-2,8	3,8	6 <sub>4</sub> = 0,6

$$\ln\left(\frac{Q / b_L \cdot Q}{\pi \cdot \Delta P}\right) = k \ln(r) + b$$



$$\bar{n} = -6,5$$

$$\bar{f} = -25,5$$

$$\bar{y}_g = 167,5$$

$$\bar{n}^2 = 42,9$$

$$k = 5,2 \quad b_n = 0,2$$

$$b = 8,3 \quad b_b = 1,5$$

$$y = 5,2 n + 8,3$$