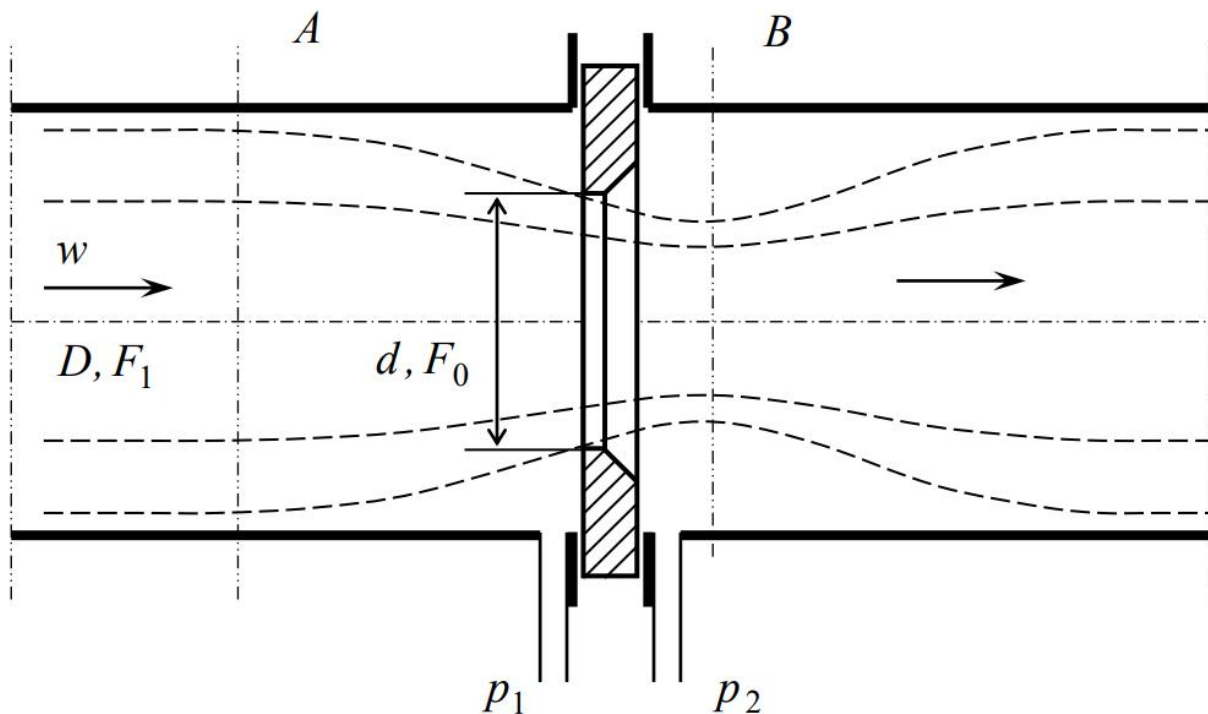


## Лабораторная работа № 1 «ИЗМЕРЕНИЕ РАСХОДА ЖИДКОСТЕЙ»

### Пункт 1. Краткое описание схем и принципов работы приборов.

Диафрагма представляет собой тонкий диск с круглым центральным отверстием, которое имеет диаметр  $d$  и площадь  $F_0$ . Трубопровод имеет внутренний диаметр  $D$  и площадь сечения  $F_1$ . До некоторого сечения  $A$  поток остается невозмущенным и движется со средней скоростью  $w$ . Сужение потока начинается перед диафрагмой и продолжается за диафрагмой до некоторого сечения  $B$ , где поток достигает максимального сужения. Далее поток постепенно расширяется до полного сечения трубопровода. В соответствии с законом сохранения энергии, в суженном сечении скорость потока увеличивается за счет перехода части потенциальной энергии давления в кинетическую. В результате статическое давление в суженном сечении становится меньше статического давления перед сужающим устройством. Разность (перепад) статических давлений зависит от расхода жидкости. Отбор статических давлений  $P_1$  и  $P_2$  осуществляется с помощью двух отверстий в трубопроводе, расположенных непосредственно до и после диска диафрагмы. Перепад давлений измеряется с помощью дифференциального манометра. Продемонстрируем это на рисунке 1:



**Рис. 1.** Схема установки расходомерной диафрагмы в трубопроводе.

Ротаметр представляет собой конусную стеклянную трубку, расположенную вертикально, внутри которой находится поплавков. Между поплавком и внутренней поверхностью конусной трубки образуется кольцевой зазор, площадь которого зависит от высоты поплавка. Поток жидкости или газа с расходом  $G$  протекает снизу вверх, создавая перепад давления на кольцевом зазоре, как на сужающем устройстве. На поплавок действует результирующая подъемная сила, в создании которой участвует не только перепад давлений, но также силы вязкого трения, действующие на боковую поверхность поплавка при протекании потока в кольцевом зазоре, сила гидростатического выталкивания (архимедова сила) и динамический напор набегающего потока. При изменении расхода поплавок стремится занять новое положение равновесия, при котором перепад давлений на кольцевом зазоре остается постоянным. Для снятия показаний ротаметра на стеклянной конусной трубке наносится равномерная условная шкала. В качестве указателя положения поплавка

относительно шкалы служит верхняя горизонтальная плоскость самого поплавка. Покажем это на рисунке 2:

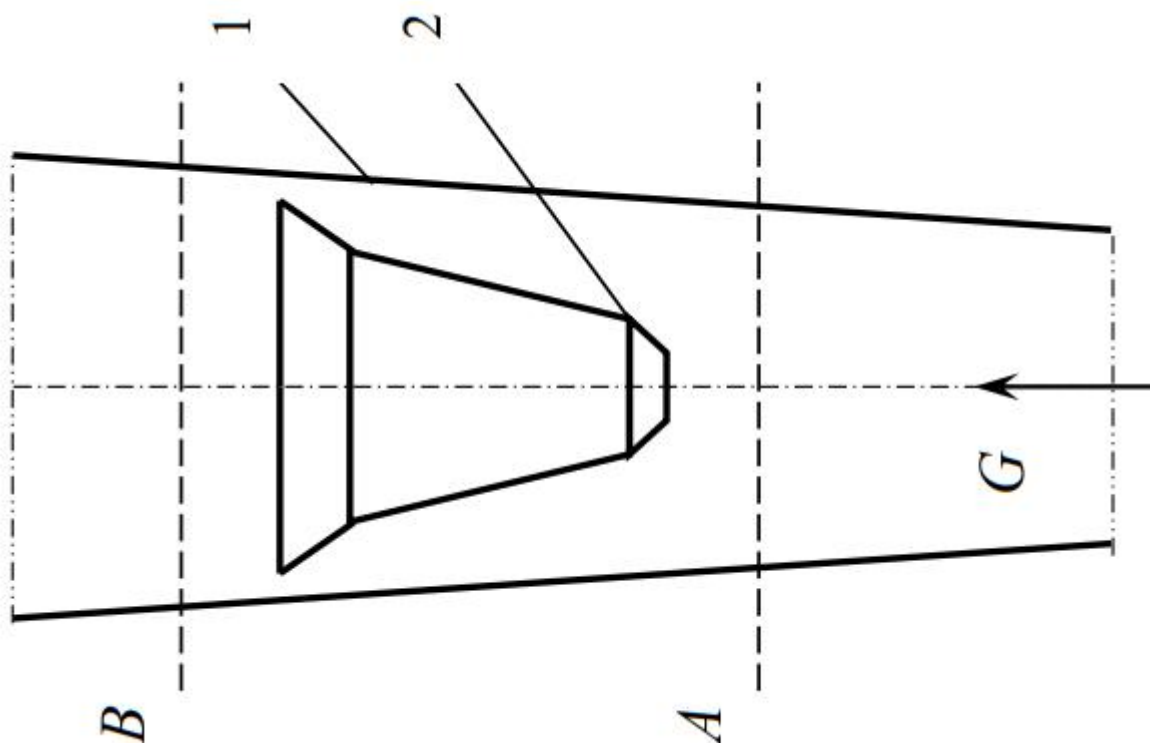


Рис. 2. Схема ротаметра с конусной трубкой и поплавком.

## Пункт 2. Протокол опытных данных и их обработки.

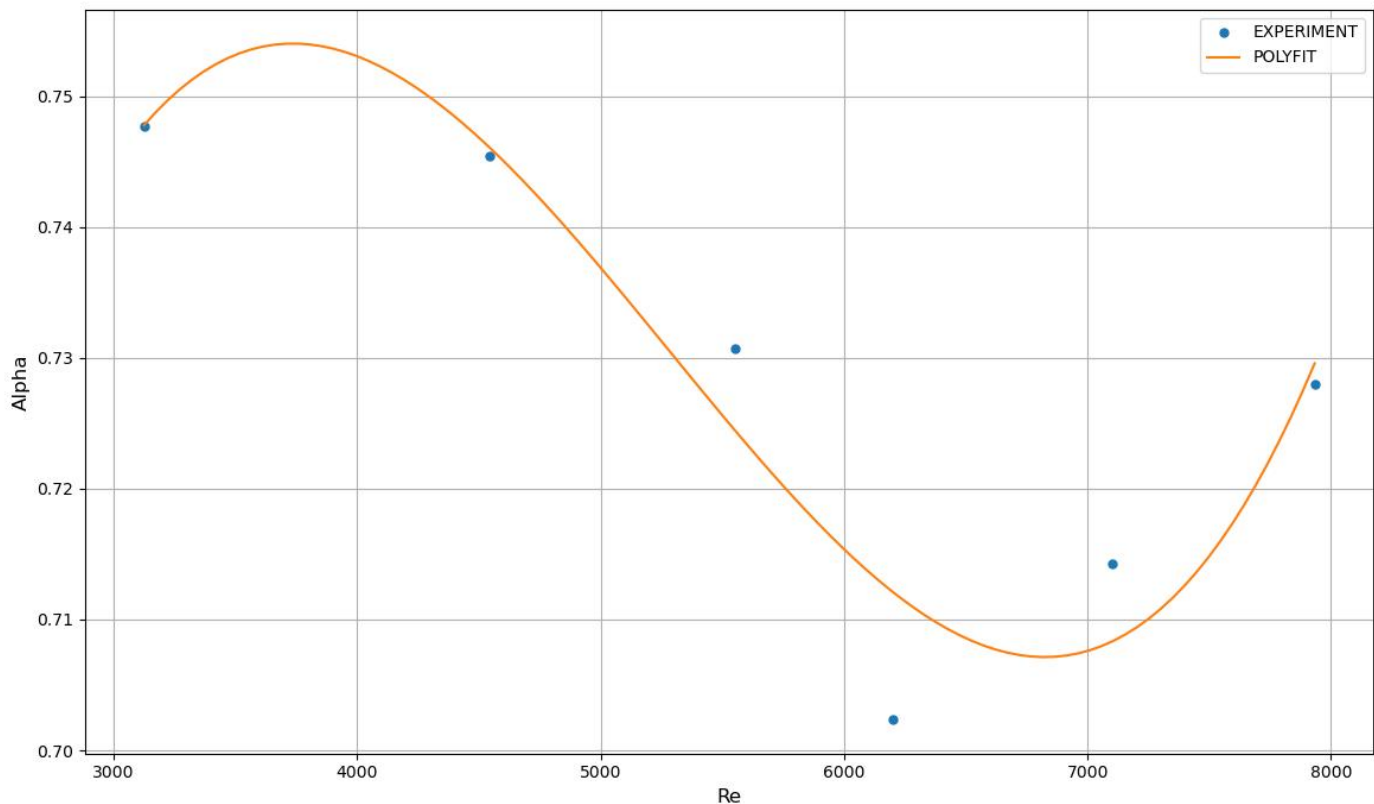
Приложение 1

1 D:\Anaconda\python.exe "C:\Users\forgo\OneDrive\Документы\Работы\Учебка 3курс\ЭМИ_ЛР1_Удав.ру"									
2	M, кг	T, с	DH, м	FREQ, Гц	G, кг/с	DP, Па	Альфа	Рейнольдс	
3	1	0.683	13.14	1.129	24.0	0.051979	11040.609539	0.728015	7933.127744
4	2	0.684	14.70	0.940	21.0	0.046531	9192.358695	0.714228	7101.627296
5	3	0.650	16.00	0.741	19.0	0.040625	7246.316801	0.702338	6200.296858
6	4	0.653	17.95	0.549	16.0	0.036379	5368.728642	0.730675	5552.234975
7	5	0.666	22.38	0.353	12.0	0.029759	3452.024063	0.745399	4541.854906
8	6	0.679	33.17	0.166	7.0	0.020470	1623.331429	0.747708	3124.232975
9	0.01100014189305549								
10	M, кг	T, с	FREQ, Гц	V, л/ч					
11	1	0.670	173.74	0	13.903390				
12	2	0.656	57.37	2	41.225385				
13	3	0.662	31.28	7	76.302186				
14	4	0.681	25.11	12	97.779122				
15	5	0.697	17.33	17	145.003988				
16	6	0.611	13.36	22	164.884748				
17	ROTAMETER -- 8.537633804041747								
18	ROTAMETERSPRAVKA -- 5.003988476517094								

Табл. 1. Протокол. Значение на 9-й строке – погрешность измерения расхода, M – разность масс, ROTAMETERSPRAVKA – максимальная погрешность линейной интерполяции, ROTAMETER – максимальная погрешность относительно заводской градуировки (взята модель РМ-4-0,16 ЖУЗ).

## Пункт 3. Диафрагма.

График приведён на рис. 3. По оси абсцисс – число Рейнольдса Re, по оси ординат – коэффициент расхода Alpha. Погрешность определения Альфа составляет около  $7 \cdot 10^{-5}$ , она считалась по (1).



**Рис. 3.** График зависимости Alpha(Re). Оранжевым цветом показан кубический многочлен интерполяции опытных данных, голубым – экспериментальные точки.

$$\begin{aligned}
 Da &= \frac{DG}{F_0 \sqrt{2r DP}} = \frac{\sqrt{D_{cl}^2 + D_{проб}^2}}{F_0 \sqrt{2r DP}}, \\
 D_{cl} &= t_{5|0.95} \hat{\sigma} \frac{(G_i - \bar{G})^2}{6(6-1)}, \\
 \bar{G} &= \frac{\sum_{i=1}^6 G_i}{6}
 \end{aligned} \tag{1}$$

Погрешности, связанные с определением плотности и давления, пренебрежимо малы, интерес представляет именно абсолютная погрешность расхода. DP, разница в давлениях, бралась как среднее арифметическое. Погрешность определения коэффициента расхода составляет 0,00007.

#### Пункт 4. Ротаметр. Класс точности.

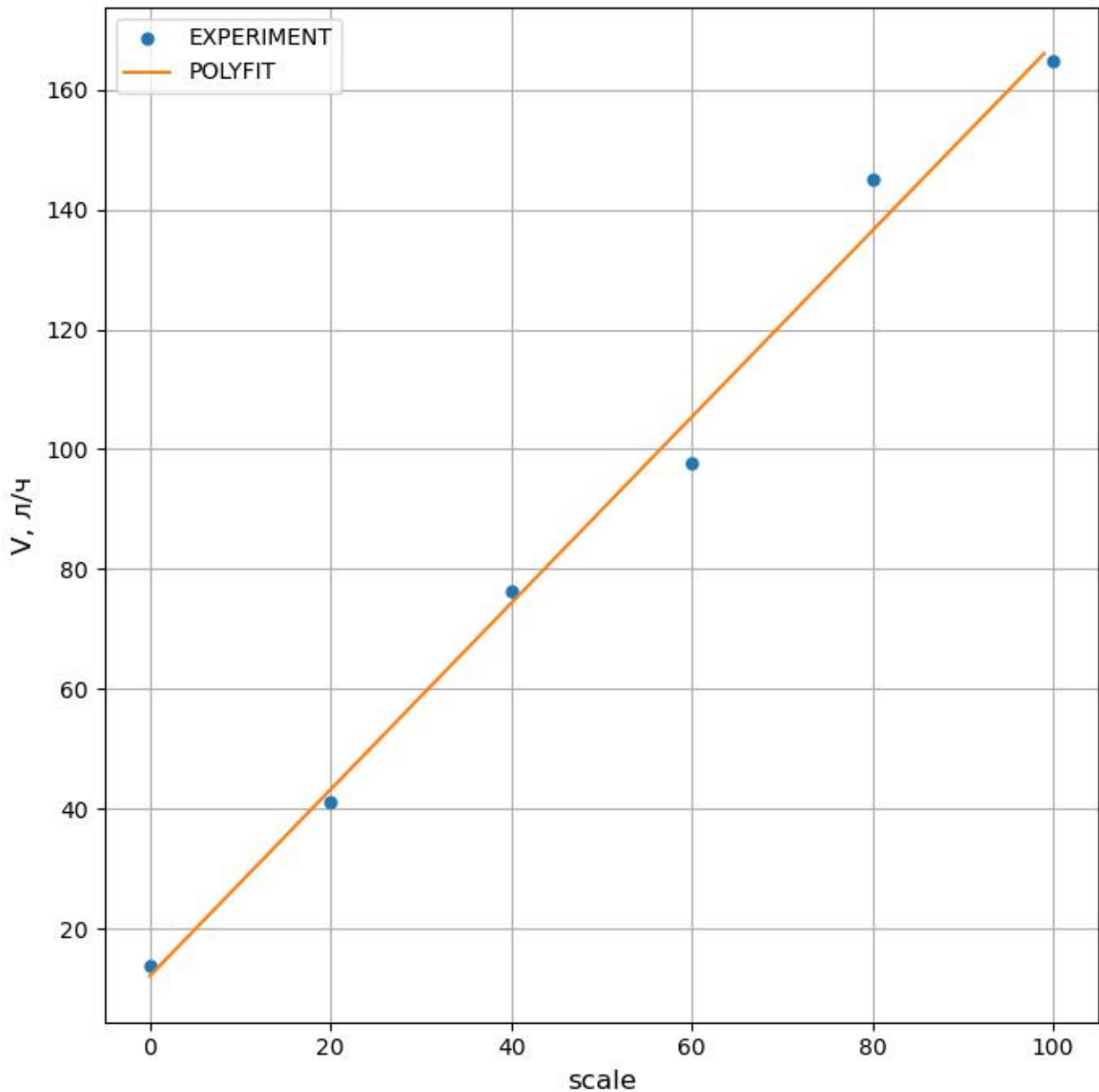
Для таблицы градуировки смотрите таблицу 2. Усредняя погрешность и относя её к отметке шкалы в 60, можно сказать, что погрешность ротаметра допустима, если учесть использование данных для воздуха при температуре 300 К (2,6% против 3,6%). Скорее всего, велико влияние случайной погрешности, так как оказалось весьма трудным выдержать необходимую массу в стакане. Наилучших результатов можно было бы добиться при выдерживании массы около 0.660 кг и лучшей реакцией секундомера на прекращение набора массы в ёмкость.

Отметка шкалы	0	20	40	60	80	100
Расход по объему, л/ч	13,903	41,225	76,302	97,779	145,004	164,885

**Табл. 2.** Градуировка ротаметра по результатам эксперимента.

### Пункт 5. Ротаметр. График.

График представлен на рис. 4. Максимальная погрешность линейной интерполяции составила в относительных единицах 0,029 или 2,9%.



**Рис. 4.** График зависимости расхода от значений на шкале прибора. По оси абсцисс – значения шкалы прибора, по оси ординат – расход. Оранжевым цветом показана линейная интерполяция.

Улучшить результат можно было так же, как описано в пункте 4.

### Пункт 6. Примечания.

Плотность воды была взята из ГСССД 2-77 в интервале температур от 17.9°C до 18.8°C и найдена по первой теореме о среднем, интеграл брался методом Симпсона. Плотность воздуха взята из ГСССД 8-79 для температуры 300К, интерполяция дала результат, идентичный с этим значением до третьего знака. Динамический коэффициент вязкости взят из «Справочника по гидравлике» Большакова.

```

1 # Libs
2 import numpy as np
3 import matplotlib.pyplot as plt
4 import pandas as pd
5 import scipy as sp
6 import math as m
7 # DIAFRAGMA
8 d=0.0044
9 D=0.0079
10 F0=0.25*m.pi*(d*d)
11 M1 = np.array([0.103, 0.104, 0.104, 0.104, 0.105, 0.106])# Empty bucket mass
12 M2 = np.array([0.786, 0.788, 0.754, 0.757, 0.771, 0.785])# Full bucket mass
13 DM=np.zeros(len(M1))
14 for i in range(0, len(M1)):
15     DM[i]=M2[i]-M1[i] #Counting DM
16 TAU = np.array([13.14, 14.70, 16.00, 17.95, 22.38, 33.17])# Time to spill
17 H1 = np.array([1.600, 1.405, 1.195, 0.992, 0.785, 0.584])# Height of first pipe
18 H2 = np.array([0.471, 0.465, 0.454, 0.443, 0.432, 0.418])# Height of second pipe
19 DH=np.zeros(len(H1))
20 for i in range(0, len(H1)):
21     DH[i]=H1[i]-H2[i] #Counting DH
22 FREQ = np.array([24.0, 21.0, 19.0, 16.0, 12.0, 7.0])# Turbine frequency
23 AIR_DENSITY=1.161
24 WATER_DENSITY=998.520 #Mean
25 DP=np.zeros(len(H1))
26 for i in range(0, len(DH)):
27     DP[i]=9.805*DH[i]*(WATER_DENSITY-AIR_DENSITY) #Counting Pressure Diff
28 GEXP=np.zeros(len(DP))
29 for i in range(0, len(DP)):
30     GEXP[i]=DM[i]/TAU[i] #Counting GEXP
31 ALPHA=np.zeros(len(DP))
32 for i in range(0, len(DP)):
33     ALPHA[i]=GEXP[i]/(F0*m.sqrt(2*WATER_DENSITY*DP[i])) #Counting ALPHA
34 RE = np.zeros(len(GEXP))
35 for i in range(0, len(DP)):
36     RE[i] = (4*GEXP[i]) / (m.pi *D* 0.001056) # Counting RE, Const is the
        DynViscosityCoeff
37 S_result_dict = {
38     'M, кг': DM,
39     'T, с': TAU,
40     'DH, м': DH,
41     'FREQ, Гц': FREQ,
42     'G, кг/с': GEXP,
43     'DP, Па': DP,
44     'Альфа': ALPHA,
45     'Рейнольдс': RE
46 }
47 S_result = pd.DataFrame(S_result_dict, index=np.arange(1, 7))
48 print(S_result)
49 a = np.polyfit(RE, ALPHA, 3) #АППРОКС. КУБ. МНОГОЧЛЕНОМ
50 def ALPHAFIT(x):
51     return np.polyval(a,x)
52 x = np.linspace(RE[0], RE[5],100)
53 plt.figure(figsize=(7, 7))
54 plt.xlabel('Re', fontsize=12)
55 plt.ylabel('Alpha', fontsize=12)
56 plt.plot(RE, ALPHA, 'o', label='EXPERIMENT', markersize=5)
57 plt.plot(x, ALPHAFIT(x), label='POLYFIT')
58 plt.grid(True)

```

```

59 plt.legend()
60 plt.show()
61 deltarand=0
62 GEXPMEAN=0
63 for i in range(0, len(GEXP)):
64     GEXPMEAN += GEXP[i]
65 GEXPMEAN=GEXPMEAN/6
66 for i in range(0, len(GEXP)):
67     deltarand+=(GEXP[i]-GEXPMEAN)**2
68 deltarand=2.57058183661*deltarand/30
69 deltagexp=m.sqrt((0.001+0.01)**2+deltarand**2)
70 print(deltagexp)#ПОГРЕШНОСТЬ РАСХОДА
71
72 # ROTAMETER
73 M1ROT = np.array([0.104, 0.105, 0.105, 0.105, 0.106, 0.106])# Empty bucket mass
74 M2ROT = np.array([0.774, 0.761, 0.767, 0.786, 0.803, 0.717])# Full bucket mass
75 DMR0T=np.zeros(len(M1))
76 for i in range(0, len(M1)):
77     DMR0T[i]=M2ROT[i]-M1ROT[i] #Counting DM
78 TAUR0T = np.array([173.74, 57.37, 31.28, 25.11, 17.33, 13.36])# Time to spill
79 GEXPROT=np.zeros(len(DMR0T))
80 for i in range(0, len(DP)):
81     GEXPROT[i]=3600000*DMR0T[i]/(TAUR0T[i]*WATER_DENSITY) #Counting GEXP
82 FREQR0T = np.array([0, 2, 7, 12, 17, 22])# FREQ
83 SCALE= np.array([0, 20, 40, 60, 80, 100])# SCALE
84
85 B = np.polyfit(SCALE, GEXPROT, 1) #АППРОКС. КУБ. МНОГОЧЛЕНОМ
86 ALPHA_FIT = np.polyval(B, range(SCALE[0], SCALE[5],1))
87 plt.figure(figsize=(7, 7))
88 plt.xlabel('scale', fontsize=12)
89 plt.ylabel('V, л/ч', fontsize=12)
90 plt.plot(SCALE, GEXPROT, 'o', label='EXPERIMENT', markersize=5)
91 plt.plot(range(SCALE[0], SCALE[5],1), ALPHA_FIT, label='POLYFIT')
92 plt.grid(True)
93 plt.legend()
94 plt.show()
95 S_result_dict = {
96     'M, кг': DMR0T,
97     'T, с': TAUR0T,
98     'FREQ, Гц': FREQR0T,
99     'V, л/ч': GEXPROT
100 }
101 S_result = pd.DataFrame(S_result_dict, index=np.arange(1, 7))
102 print(S_result)
103 deltagexp=0
104 for i in range (0,5):
105     if ((GEXPROT[i]-np.polyval(B,SCALE[i]))>deltagexp):
106         deltagexp=GEXPROT[i]-np.polyval(B,SCALE[i])
107 print('ROTAMETER -- ',deltagexp)#ПОГРЕШНОСТЬ ЛИНЕЙНАЯ РАСХОДА
108 SPRAVKA = np.array([20, 46, 76, 107, 140, 171])# SCALE
109 deltagexp=0
110 for i in range (0,5):
111     if ((GEXPROT[i]-SPRAVKA[i])>deltagexp):
112         deltagexp=GEXPROT[i]-SPRAVKA[i]
113 print('ROTAMETERSPRAVKA -- ',deltagexp)#ПОГРЕШНОСТЬ РАСХОДА по справочным данным

```