

Практическая работа «Классификация»

Задание

1. Определить конечные скорости падения частиц магнетита в воде и воздухе.
2. Определить конечную скорость падения частиц в воде по методу Лященко.
3. Определить коэффициент равнопадаемости.
4. Определить скорость стесненного падения.
5. Определить коэффициент равнопадаемости в стесненных условиях.
6. Определить производительность гидроциклона.
- 7.

Теория

Для определения скорости свободного падения ϑ_0 (м/с) частиц различной крупности и плотности можно пользоваться следующими уравнениями.

Для частиц крупностью 2 мм и выше (формула Риттингера):

для воды

$$\vartheta_0 = 0,16\sqrt{d(\delta - 1000)} \quad (1)$$

для воздуха

$$\vartheta_0 = 4,6\sqrt{d(\delta - 1.23)} \quad (2)$$

Для частиц крупностью 0.1 мм и ниже (формула Стокса):

для воды

$$\vartheta_0 = 0,545d^2(\delta - 1000)/\mu \quad (3)$$

для воздуха

$$\vartheta_0 = 30278d^2(\delta - 1.23)/\mu \quad (4)$$

Для частиц крупностью 0,1—2 мм (формула Аллена):

для воды

$$\vartheta_0 = \frac{1.1146d^3\sqrt{(\delta-1000)^2}}{\sqrt[3]{\mu}} \quad (5)$$

для воздуха

$$\vartheta_0 = 40.6d^3\sqrt{(\delta - 1.23)^2} \quad (6)$$

где d — диаметр частиц, м; δ — плотность частиц, кг/м³; (μ —коэффициент вязкости, Н*с/м² (для воды $\mu = 0,001$; для воздуха $\mu = 0,000018$)).

Можно также пользоваться универсальным методом П. В. Лященко, который приемлем для определения конечных скоростей движения частиц любой крупности и плотности в различной среде.

Определение конечной скорости производится исходя из па-раметра Лященко $Re^2\varphi$, где Re — параметр Рейнольдса, а φ —коэффициент сопротивления среды. Метод Лященко заключается в следующем:

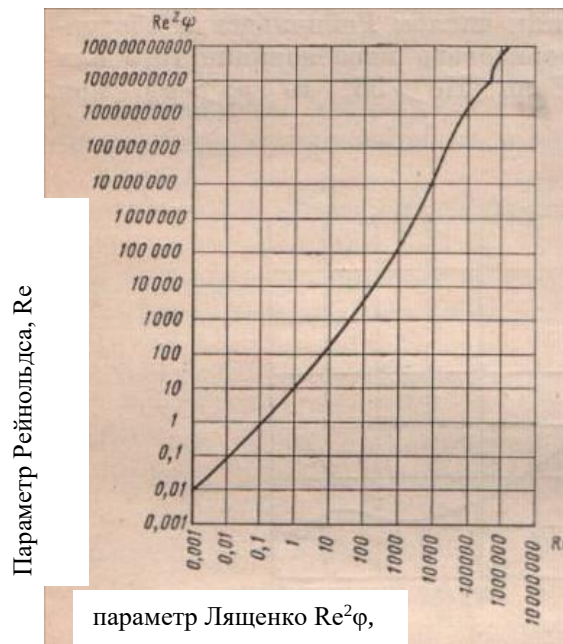
1. Зная размер частицы, ее плотность, а также характеристику среды, определяем силу тяжести G_0 этой частицы в среде

$$G_0 = \pi d^3(\delta - \Delta)g/6 \quad (7)$$

где d —размер частицы, м; δ — плотность частицы, кг/м³; Δ —плотность среды, кг/м³; g — ускорение свободного падения, м/с².

2. Определяем значение параметра Лященко по формуле

$$Re^2\varphi = G_0\Delta/\mu^2 \quad (8)$$



Зависимость параметра Рейнольдса Re от параметра Лященко $Re^2\varphi$

Зная значение параметра $Re^2\varphi$, по диаграмме П. В. Лященко $Re^2\varphi — Re$ (рис. 23) определяем значение Re .

3. Исходя из значения Re определяем конечную скорость падения частицы по формуле:

$$\vartheta_0 = Re\mu/(d\Delta) \quad (9)$$

В процессе разделения частицы различной крупности и плотности может наблюдаться явление равнопадаемости. Равнопадающими называются такие минеральные зерна, которые при различных плотностях и диаметрах имеют одинаковую конечную скорость падения в одной и той же среде. Отношение диаметров зерен (соответственно d_1 и d_2) двух минералов различной плотности, падающих с одинаковой скоростью, называется коэффициентом равнопадаемости обозначается буквой « e ». Пренебрегая коэффициентом, учитывающим различие в форме частиц, для крупности 2 мм и более имеем

$$e = \frac{d_1}{d_2} = (\delta_2 - \Delta)/(\delta_1 - \Delta) \quad (10)$$

Для частиц крупностью 0,1—2 мм

$$e = \frac{d_1}{d_2} = \sqrt[3]{((\delta_2 - \Delta)/(\delta_1 - \Delta))^2} \quad (11)$$

Для частиц крупностью 0,1 мм и меньше

$$e = \frac{d_1}{d_2} = \sqrt{((\delta_2 - \Delta)/(\delta_1 - \Delta))} \quad (12)$$

где δ_2 и δ_1 — плотность соответственно тяжелого и легкого зерен, кг/м³; Δ — плотность среды, кг/м³.

Коэффициент равнопадаемости показывает, во сколько раз диаметр частицы легкого минерала больше диаметра частицы тяжелого минерала, имеющих одну и ту же конечную скорость падения. Из формул видно, что коэффициент равнопадаемости не есть величина постоянная — он изменяется с изменением размера зерен.

Для того чтобы при разделении смеси зерен различных минералов избежать попадания крупных легких частиц в тяжелый продукт, а мелких тяжелых — в легкий и обеспечить

при этом четкость разделения минеральных зерен различной плотности, необходимо крупность разделяемого материала иметь в пределах **коэффициента равнопадаемости**.

Конечные скорости стесненного падения частиц всегда ниже скоростей их свободного падения. Это было установлено экспериментально Р. Ричардсом в 1908—1909 гг. Полученные им скорости стесненного падения в 2,76 раза для кварца и в 3,47 раза для свинцового блеска оказались меньше соответствующих скоростей свободного падения. Величина, обратная полученным цифрам, называется **коэффициентом снижения скорости** и обозначается K . Для кварца K равно 0,362, а для свинцового блеска 0,288. Исходя из этого конечную скорость стесненного падения $\vartheta_{\text{ст}}$ (м/с) можно определить по формуле

$$\vartheta_{\text{ст}} = K\vartheta_0 \quad (13)$$

где ϑ_0 — конечная скорость свободного падения частиц, м/с. Р. Ричардс предложил следующую формулу для определения скорости $\vartheta_{\text{ст}}$ (м/с) стесненного падения:

$$\vartheta_{\text{ст}} = K\sqrt{d(\delta - \sigma)} \quad (14)$$

где K — коэффициент из формулы (15) Риттингера; d — диаметр частицы, м; δ — плотность частицы, кг/м³; σ — плотность гидросмеси, средняя между плотностью среды и частиц $\sigma = 0,5 (\delta + \Delta)$, кг/м³.

Очевидно, что скорость стесненного падения зависит от коэффициента разрыхления движущейся массы зерен. Чем больше разрыхление, тем ближе условия их движения приближаются к условиям свободного падения. На основании этого П. В. Лященко предложил следующую формулу для определения конечной скорости стесненного падения:

$$\vartheta_{\text{ст}} = \vartheta_0 \sqrt{\theta^n} \quad (15)$$

где θ — коэффициент разрыхления, доли ед. (представляет собой отношение объема промежутков между взвешенными зернами к полному объему V_1 , занимаемому взвесью).

Определяется по формуле

$$\theta = (V_1 - V_2) / V_1$$

где V_2 — объем, занимаемый твердыми частицами в объеме взвеси);

n — показатель степени, $n = 5-7,5$.

При среднем значении $n = 6$ формула принимает вид

$$\vartheta_{\text{ст}} = \vartheta_0 \theta^3 \quad (16)$$

Вследствие снижения скоростей падения частиц в стесненных условиях, по сравнению со свободным падением, происходит соответственно изменение значения коэффициента равнопадаемости.

В стесненных условиях значение коэффициента равнопадаемости выше, чем при свободном падении. По одной из гипотез стесненное падение рассматривается как падение зерен в тяжелой среде. Коэффициент равнопадаемости $e_{\text{ст}}$ при стесненном падении по аналогии с формулой (10) для крупных зерен

$$e_{\text{ст}} = [\delta_2 - (\Delta + x)] / [\delta_1 - (\Delta + x)] \quad (17)$$

где $\Delta + x$ — плотность среды (для угольных и сланцевых частиц $x = 110-300$ кг/м³; для рудных — 400 кг/м³ и более).

Коэффициент равнопадаемости в стесненных условиях всегда выше, чем при свободном падении зерен.

Вследствие этого разделение смеси минеральных зерен в стесненных условиях можно производить при больших значениях максимальных и минимальных их размеров.

Производительность гидроциклона по исходной пульпе можно определить по эмпирической формуле:

$$Q = 3K_\alpha K_D d_\pi d \sqrt{p_0}$$

где Q — объемная производительность гидроциклона по исходной пульпе, м³/ч; d_π , d — диаметр соответственно питающего и сливного отверстий, см; p_0 — давление на входе в

гидроциклон, Мпа; K_D и K_α — эмпирические коэффициенты, учитывающие диаметр гидроциклона

$$K_D = 0.8 + 1.2/(1 + 0.1D)$$

и угол конусности

$$K_\alpha = 0.79 + 0.044/(0.0379 + \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2})$$

D — диаметр гидроциклона, см; α — угол конусности, градус (при $\alpha=20$ град, $K_\alpha = 1$)
Отношение d_n/d в большинстве случаев изменяется в пределах 0,3—0,55.

Пример решения.

Задача 1.

Определить конечные скорости падения частиц магнетита крупностью 3; 0,5 и 0,08 мм ($\rho = 5000$ кг/м³) в воде и воздухе.

Для частиц крупностью 3 мм по формулам (1) и (2) определяем:

в воде

$$\vartheta_0 = 0,16\sqrt{d(\delta - 1000)} = 0,16\sqrt{0,003(5000 - 1000)} = 0,16 \cdot 3,47 = 0,55 \text{ м/с}$$

в воздухе

$$\vartheta_0 = 4,6\sqrt{d(\delta - 1,23)} = 4,6\sqrt{0,003(5000 - 1,23)} = 4,6 \cdot 3,88 = 17,9 \text{ м/с}$$

Для частиц крупностью 0,5 мм по формулам (5), (6) определяем:

в воде

$$\begin{aligned} \vartheta_0 &= \frac{1,1146d^3\sqrt{(\delta - 1000)^2}}{\sqrt[3]{\mu}} = \frac{0,1146 \cdot 0,0005^3\sqrt{(5000 - 1000)^2}}{\sqrt[3]{0,001}} \\ &= 0,00146 \cdot 253 \cdot \frac{0,0005}{0,1} = 0,146 \text{ м/с} \end{aligned}$$

в воздухе

$$\begin{aligned} \vartheta_0 &= 40,6d^3\sqrt{(\delta - 1,23)^2} = 40,6 \cdot 0,0005^3 \cdot \sqrt{(5000 - 1,23)^2} = 40,6 \cdot 293 \cdot 0,0005 \\ &= 5,95 \text{ м/с} \end{aligned}$$

Для частиц крупностью 0,08 мм по формулам (3), (4) определяем:

в воде

$$\vartheta_0 = \frac{0,545d^2(\delta - 1000)}{\mu} = 0,545 \cdot \frac{0,00008^2(5000 - 1000)}{0,001} = 0,014 \text{ м/с}$$

в воздухе

$$\vartheta_0 = \frac{30278d^2(\delta - 1,23)}{\mu} = 30278 \cdot 0,00008^2(5000 - 1,23) = 0,974 \text{ м/с}$$

Задача 2.

Определить конечную скорость падения частиц магнетита ($\rho = 5000$ кг/м³) крупностью 1 мм в воде по методу Лященко.

По формулам (7), (8) и (9) определяем:

$$\begin{aligned} G_0 &= \frac{\pi d^3(\delta - \Delta)g}{6} = 3,14 \cdot \frac{0,001^3(5000 - 1000)9,81}{6} = 0,00002 \text{ Н} \\ \operatorname{Re}^2 \varphi &= \frac{G_0 \Delta}{\mu^2} = 0,00002 \cdot \frac{1000}{0,001^2} = 20000 \end{aligned}$$

По диаграмме находим $\operatorname{Re} \approx 480$, тогда

$$\vartheta_0 = \frac{\operatorname{Re} \mu}{d \Delta} = 480 \cdot \frac{0,01}{0,001 \cdot 1000} = 0,48 \text{ м/с}$$

Задача 3.

Определить коэффициент равнопадаемости в воде пары крупных зерен галенита ($\delta_2=7500$ кг/м³) и кварца ($\delta_1 = 2650$ кг/м³).

Коэффициент равнопадаемости для крупных зерен по формуле (10) равен

$$e = \frac{d_1}{d_2} = (\delta_2 - \Delta)/(\delta_1 - \Delta) = (7500 - 1000)/(2650 - 1000) = 3,94$$

Это значит, что для эффективного разделения указанных минералов отношение максимального и минимального размеров зерен не должно превышать 4 (например, — 24+6 мм; —10+2,5 мм и т.д.).

Задача 4.

Определить скорость стесненного падения в воде частиц галенита ($\delta=7500$ кг/м³) крупностью 3 мм при значениях $K= 0,288$; $\theta = 0,65$.

Вначале по формуле (1) определяем ϑ_0 :

$$\vartheta_0 = 0,16\sqrt{d(\delta - 1000)} = 0,16\sqrt{0,003(7500 - 1000)} = 0,16 \cdot 4,42 = 0,707 \text{ м/с}$$

Определяем скорость стесненного падения частиц по формуле (13)

$$\vartheta_{\text{ст}} = K\vartheta_0 = 0,288 \cdot 0,707 = 0,204 \text{ м/с};$$

по формуле (14)

$$\vartheta_{\text{ст}} = K\sqrt{d(\delta - \sigma)} = 0,16\sqrt{0,003(7500 - 0,5(7500 + 1000))} = 0,16\sqrt{0,003(7500 - 4250)} = 0,16\sqrt{0,003 \cdot 3250} = 0,16\sqrt{9,75} = 0,5 \text{ м/с};$$

по формуле (15)

$$\vartheta_{\text{ст}} = \vartheta_0\sqrt{\theta^n} = 0,707 \cdot 0,65^3 = 0,707 \cdot 0,275 = 0,194 \text{ м/с}.$$

Задача 5.

Определить коэффициент равнопадаемости в воде в стесненных условиях пары крупных частиц галенита ($\delta_2=7500$ кг/м³) и кварца ($\delta_1=2650$ кг/м³) при значении $x=700$ кг/м³. По формуле (17) имеем

$$e_{\text{ст}} = \frac{[\delta_2 - (\Delta + x)]}{[\delta_1 - (\Delta + x)]} = \frac{[7500 - (1000 + 700)]}{[2650 - (1000 + 700)]} = \frac{7500 - 1700}{2650 - 1700} = \frac{5800}{950} = 6,1$$

Сравните ответ с предыдущим примером.

Задача 6.

Определить производительность гидроциклона диаметром $D=25$ см с углом конусности $\alpha=20^\circ$ при давлении на входе в гидроциклон при давлении на входе в гидроциклон 0,3 Мпа. Задаемся отношением: $d_n/d=0,9$ и $d/D=0,22$. (Обычно значения d_n/d и d/D лежат в пределах соответственно 0,5—1 и 0,2—0,4).

Отсюда определяем:

$$d = 0,22D = 0,22 \cdot 25 = 5,5 \text{ см};$$

$$d_n = 0,9d = 0,9 \cdot 5,5 = 5 \text{ см}.$$

Находим поправки на диаметр гидроциклона (K_D) по формуле

$$K_D = 0,8 + \frac{1,2}{1 + 0,1D} = 0,8 + \frac{1,2}{1 + 0,1 \cdot 25} = 1,14$$

$$K_\alpha = 1 \text{ при } \alpha = 20 \text{ град}$$

По формуле определяем объемную производительность гидроциклона

$$Q = 3K_\alpha K_D d_n d \sqrt{p_0} = 3 \cdot 1 \cdot 1,14 \cdot 5 \cdot 5,5 \cdot \sqrt{0,3} = 52 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Исходные данные для практических задач по теме «Классификация»

Задачи №1, 2

№Варианта	Крупность материала, мм	Плотность частицы, кг/м ³ δ	№Варианта	Крупность материала, мм	Плотность частицы, кг/м ³ δ
1.	4; 1,0; 0,09	3000	26.	3,6; 1,0; 0,070	4500
2.	3,8; 1,2; 0,08	3500	27.	3,4; 0,5; 0,060	5000
3.	3,6; 1,0; 0,07	4000	28.	3,2; 1,2; 0,050	4000
4.	3,4; 0,5; 0,06	4500	29.	3,0; 1,0; 0,040	4500
5.	3,2; 1,2; 0,05	5000	30.	2,8; 0,5; 0,090	5000
6.	3,0; 1,0; 0,04	3000	31.	2,2; 0,5 0,060	3000
7.	2,8; 0,5; 0,09	3500	32.	2,4; 1,0; 0,070	3500
8.	2,6; 1,2; 0,08	4000	33.	2,6;1,2; 0,080	4000
9.	2,4; 1,0; 0,07	4500	34.	2,8;1,4; 0,090	4500
10.	2,2; 0,5 0,06	5000	35.	3,0; 1,5; 0,095	5000
11.	4; 1,2; 0,05	3000	36.	2,0; 0,15; 0,030	3000
12.	3,8; 1,0; 0,04	3500	37.	2,1; 0,17; 0,035	3500
13.	3,6; 0,5; 0,09	4000	38.	2,2; 0,19; 0,04	4000
14.	3,4; 1,2; 0,08	4500	39.	2,4; 0,2; 0,05	4500
15.	3,2; 1,0; 0,07	5000	40.	2,6; 0,25; 0,06	5000
16.	3,0; 0,5; 0,06	3000	41.	2,8; 0,35; 0,065	3000
17.	2,8; 1,2; 0,05	3500	42.	3,0; 0,40; 007	3500
18.	2,6; 1,0; 0,04	4000	43.	3,2; 0,45; 0,075	4000
19.	2,4; 0,5; 0,09	4500	44.	3,3; 0,50; 0,08	4500
20.	2,2; 1,0; 0,08	5000	45.	3,4; 0,55; 0,09	5000
21.	4; 1,2; 0,07	4000	46.	2,1; 0,60; 0,015	3000
22.	3,8; 1,0; 0,06	4500	47.	2,2; 0,70; 0,025	3500
23.	3,6; 0,5; 0,05	5000	48.	2,4; 0,8; 0,035	4000
24.	4; 1,0; 0,09	3500	49.	2,5; 0,9; 0,040	4500
25.	3,8; 1,2; 0,08	4000	50.	2,6; 0,95; 0,045	5000

Задачи №3, 5

№Варианта	Плотность частицы, кг/м ³ δ	Плотность частицы, кг/м ³ δ	№Варианта	Плотность частицы, кг/м ³ δ	Плотность частицы, кг/м ³ δ
1.	Алмаз	Турмалин	26.	Кертисит	Алмаз
2.	Апатит	Оливин	27.	Мелилит	Базальт
3.	Барит	Топаз	28.	Улексит	Габбро
4.	Галит	Сфалерит	29.	Сера	Гранит
5.	Гипс	Корунд	30.	Опал	Диорит
6.	Глауконит	Базальт	31.	Графит	Сиенит
7.	Графит	Габбро	32.	Гипс	Порфир
8.	Каолинит	Сиенит	33.	Полевой шпат	Диабаз
9.	Доломит	Диабаз	34.	Берилл	Андезит
10.	Кальцит	Алевролит	35.	Кальцит	Песчаник
11.	Флюорит	Аргиллит	36.	Доломит	Алевролит
12.	Халцедон	Мергель	37.	Мусковит	Аргиллит
13.	Халькопирит	Известняк	38.	Турмалин	Мергель
14.	Малахит	Мел	39.	Апатит	Известняк
15.	Нефелин	Брекчия	40.	Флюорит	Брекчия
16.	Опал	Опока	41.	Алмаз	Доломит
17.	Серпентин	Песок	42.	Топаз	Песок
18.	Тальк	Лёсс	43.	Сфалерит	Лесс
19.	Титаномагнетит	Торф	44.	Корунд	Торф
20.	Циркон	Вольфрамит	45.	Сидерит	Апатит
21.	Сера	Биотит	46.	Халькопирит	Барит
22.	Берилл	Полевой шпат	47.	Барит	Вольфрамит
23.	Кварц	Мусковит	48.	Ильменит	Галит
24.	Гематит	Циркон	49.	Пирит	Нефелин
25.	Галит	Рутил	50.	Магнетит	Биотит

Задача №4

№Варианта	Плотность частицы, кг/м ³ δ	Крупность частиц, мм	Коэффициент снижения скорости	Коэффициент разрыхления
1.	Алмаз	4;	0,2	0,5
2.	Апатит	3,8;	0,25	0,55
3.	Барит	3,6;	0,3	0,6
4.	Галит	3,4;	0,35	0,65
5.	Гипс	3,2;	0,2	0,5
6.	Глауконит	3,0;	0,25	0,55
7.	Графит	2,8;	0,3	0,6
8.	Каолинит	2,6;	0,35	0,65
9.	Доломит	2,4;	0,2	0,5
10.	Кальцит	2,2;	0,25	0,55
11.	Флюорит	4;	0,3	0,6
12.	Халцедон	3,8;	0,35	0,65
13.	Халькопирит	3,6;	0,2	0,5
14.	Малахит	3,4;	0,25	0,55
15.	Нефелин	3,2;	0,3	0,6
16.	Опал	3,0;	0,35	0,65
17.	Серпентин	2,8;	0,2	0,5
18.	Тальк	2,6;	0,25	0,55
19.	Титаномагнетит	2,4;	0,3	0,6
20.	Циркон	2,2;	0,35	0,65
21.	Сера	4;	0,25	0,55
22.	Берилл	3,8;	0,3	0,6
23.	Кварц	3,6;	0,35	0,65

Задача №6

№Варианта	Диаметр, см	Угол конусности, град	Давление на входе, МПа	Отношение d_n/d	Отношение d/D
1.	20	20	0.25	0.5	0.2
2.	25	22	0.3	0.6	0.25
3.	30	24	0.35	0.7	0.3
4.	35	26	0.4	0.8	0.35
5.	40	28	0.25	0.9	0.4
6.	20	30	0.3	1.0	0.22
7.	25	20	0.35	0.5	0.2
8.	30	22	0.4	0.6	0.25
9.	35	24	0.25	0.7	0.3
10.	40	26	0.3	0.8	0.35
11.	20	28	0.35	0.9	0.4
12.	25	30	0.4	1.0	0.22
13.	30	20	0.25	0.5	0.2
14.	35	22	0.3	0.6	0.25
15.	40	24	0.35	0.7	0.3
16.	20	26	0.4	0.8	0.35
17.	25	28	0.25	0.9	0.4
18.	30	30	0.3	1.0	0.22
19.	35	20	0.35	0.5	0.2
20.	40	22	0.4	0.6	0.25
21.	20	24	0.25	0.7	0.3
22.	25	26	0.3	0.8	0.35
23.	30	28	0.35	0.9	0.4
24.	20	20	0.25	0.5	0.2
25.	25	22	0.3	0.6	0.25
26.	30	24	0.35	0.7	0.3
27.	35	26	0.4	0.8	0.35
28.	40	28	0.25	0.9	0.4
29.	20	30	0.3	1.0	0.22
30.	25	20	0.35	0.5	0.2
31.	30	22	0.4	0.6	0.25
32.	35	24	0.25	0.7	0.3
33.	40	26	0.3	0.8	0.35
34.	20	28	0.35	0.9	0.4
35.	25	30	0.4	1.0	0.22
36.	30	20	0.25	0.5	0.2
37.	35	22	0.3	0.6	0.25
38.	40	24	0.35	0.7	0.3
39.	20	26	0.4	0.8	0.35
40.	25	28	0.25	0.9	0.4
41.	30	30	0.3	1.0	0.22
42.	35	20	0.35	0.5	0.2
43.	40	22	0.4	0.6	0.25
44.	20	24	0.25	0.7	0.3
45.	25	26	0.3	0.8	0.35
46.	30	28	0.35	0.9	0.4
47.	35	30	0.4	1.0	0.25
48.	40	20	0.25	0.5	0.3
49.	20	22	0.3	0.6	0.35
50.	25	24	0.35	0.7	0.4

