



Министерство образования и науки РФ  
Государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
Национальный исследовательский  
Томский политехнический университет

Курс профессиональной переподготовки

Технологии урановых добывающих и  
перерабатывающих предприятий

# МАТЕРИАЛЬНЫЕ РАСЧЕТЫ ОСНОВНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

к.т.н., доцент кафедры ХТРЭ  
Николай Степанович Тураев

# МАТЕРИАЛЬНЫЕ РАСЧЕТЫ ОСНОВНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ.

## Материальный баланс выщелачивания.

Хотелось бы выполнить материальный баланс подземного выщелачивания. Но в данном случае можно отметить ряд затруднений .

Во-первых, длительность процесса, во-вторых, большая масса рудного пласта, в третьих, переменная концентрация продуктивного раствора.

Поэтому остановимся на материальном расчете выщелачивания, производимом на ГМЗ для руды, добытой в карьере.

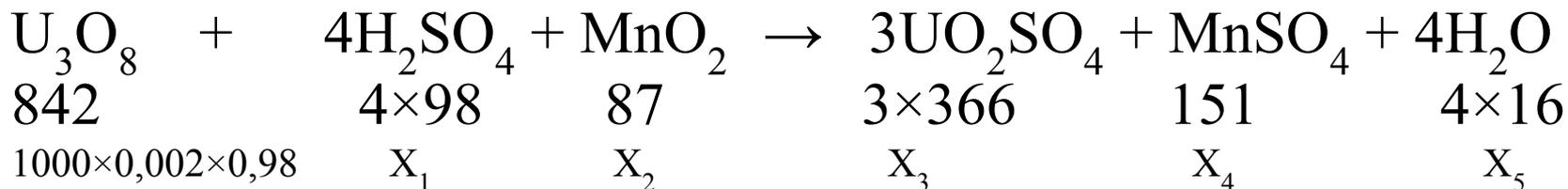
Примем следующий состав исходной руды (% масс.)

$U_3O_8$  – 0,2%,  $SiO_2$ -70%;  $Al_2O_3$  – 9%,  $Fe_2O_3$  – 5,4%,  $FeO$  – 2%,  $CaCO_3$  – 1,6%, другие 11,8%. Содержание твердой фазы в пульпе 40%.

Остаточная кислотность 10 г/л.

Выщелачивание производим серной кислотой в присутствии окислителя – пиролюзита (считаем расход на  $MnO_2$ ). Расчет ведем на 1 т руды.

Считаем расход реагентов на реакцию с  $U_3O_8$  (степень вскрытия 98%).



Расход  $H_2SO_4$

$$X_1 = 1,96 \times 392 / 842 = 0,9125 \text{ кг}$$

Расход  $MnO_2$

$$X_2 = 1,96 \times 87 / 842 = 0,2025 \text{ кг}$$

Приход  $UO_2SO_4$

$$X_3 = 1,96 \times 1098 / 842 = 2,5559 \text{ кг, в том числе } 2,5559 \times 3 \times 238 / 1,662 \text{ кг}$$

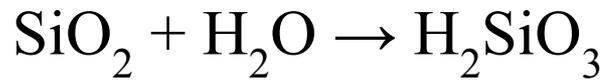
U

Приход  $MnSO_4$

$$X_4 = 1,96 \times 151 / 842 = 0,3515 \text{ кг}$$

Приход  $H_2O$

$$X_5 = 1,96 \times 4 \times 18 / 842 = 0,1676 \text{ кг}$$



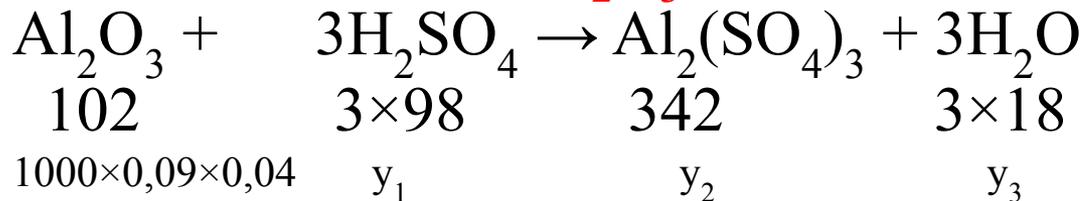
Принимаем, что в коллоидный раствор перешло 0,5 %  $\text{SiO}_2$ .

Количество  $\text{H}_2\text{SiO}_3$ :  $700 \times 0,005 \times 78/60 = 4,55$  кг.

Расход  $\text{H}_2\text{O}$

$$3,5 \times 18/60 = 1,05$$

Степень вскрытия  $\text{Al}_2\text{O}_3$  3-5%, принимаем 4%



Расход  $\text{H}_2\text{SO}_4$

$$y_1 = 3,6 \times 3 \times 98/102 = 10,3765 \text{ кг}$$

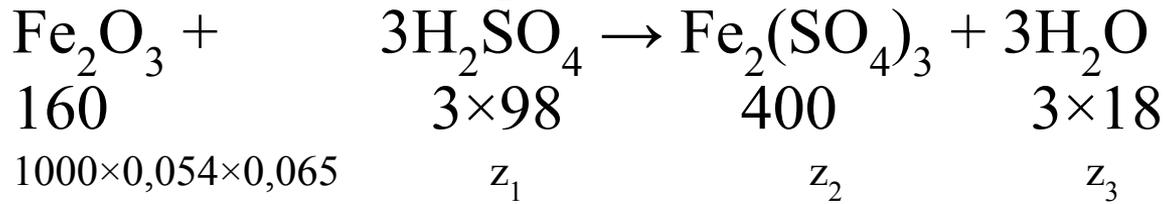
Приход  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$

$$y_2 = 3,6 \times 342/102 = 12,0706 \text{ кг}$$

Приход  $\text{H}_2\text{O}$

$$y_3 = 3,6 \times 54/102 = 1,9059 \text{ кг}$$

Степень вскрытия  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  5-8%, принимаем 6,5%



Расход  $\text{H}_2\text{SO}_4$

$$z_1 = 3,51 \times 294 / 160 = 6,4496 \text{ кг}$$

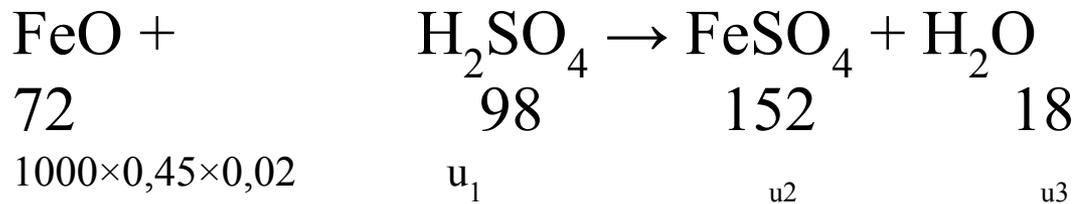
Приход  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$

$$z_2 = 3,51 \times 400 / 160 = 8,775 \text{ кг}$$

Приход  $\text{H}_2\text{O}$

$$z_3 = 3,51 \times 54 / 160 = 1,1846 \text{ кг}$$

Степень вскрытия  $\text{FeO}$  40-50%, принимаем 45%



Расход  $\text{H}_2\text{SO}_4$

$$u_1 = 9 \times 98 / 72 = 12,25 \text{ кг}$$

Приход  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$

$$u_2 = 9 \times 152 / 72 = 19 \text{ кг}$$

Приход  $\text{H}_2\text{O}$

$$u_3 = 9 \times 18 / 72 = 2,75 \text{ кг}$$

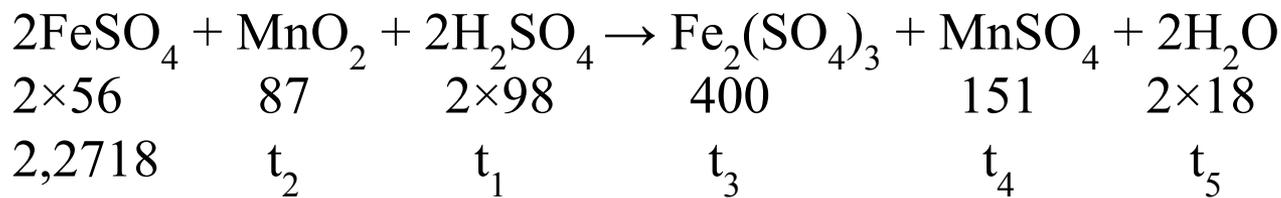
В 8,775 кг  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$  содержится  $8,775 \times 2 \times 56 / 400 = 2,457$  кг  $\text{Fe}^{3+}$

В 19 кг  $\text{FeSO}_4$  содержится  $19 \times 56 / 152 = 7$  кг  $\text{Fe}^{2+}$

Сумма  $\text{Fe}^{3+}$  и  $\text{Fe}^{2+} = 2,457 + 7 = 9,457$  кг

Для полного окисления U(IV) до U(VI) требуется выровнять количества  $\text{Fe}^{3+}$  и  $\text{Fe}^{2+}$ , т.е. до  $9,457 / 2 = 4,7285$  кг.

Для этого нужно окислить  $4,7288 - 2,457 = 2,2718$  кг  $\text{Fe}^{2+}$



Расход  $\text{H}_2\text{SO}_4$

$$t_1 = 2,2718 \times 196 / 112 = 3,9756 \text{ кг}$$

Расход  $\text{MnO}_2$

$$t_2 = 2,2718 \times 87 / 112 = 1,7647 \text{ кг}$$

Приход  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$

$$t_3 = 2,2718 \times 400 / 112 = 8,1136 \text{ кг}$$

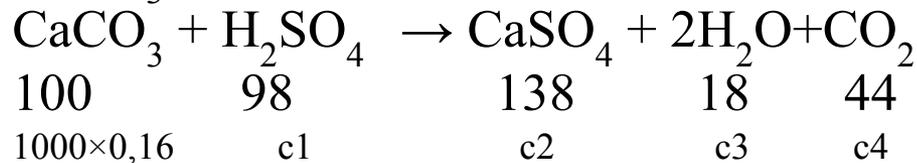
Приход  $\text{MnSO}_4$

$$t_4 = 2,2718 \times 151 / 112 = 3,0629 \text{ кг}$$

Приход  $\text{H}_2\text{O}$

$$t_5 = 2,2718 \times 36 / 112 = 0,7302 \text{ кг}$$

CaCO<sub>3</sub> реагирует на 100%



Расход H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

$$C_1 = 16 \times 98 / 100 = 15,68 \text{ кг}$$

Приход CaSO<sub>4</sub>

$$C_2 = 16 \times 138 / 100 = 22,08 \text{ кг}$$

Приход H<sub>2</sub>O

$$C_3 = 16 \times 18 / 100 = 2,88 \text{ кг}$$

Приход CO<sub>2</sub>

$$C_4 = 16 \times 44 / 100 = 7,04 \text{ кг}$$

Суммарный расход H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> составляет

$$X_1 + Y_1 + Z_1 + U_1 + t_1 + C_1, \text{ т.е.}$$

$$0,9125 + 10,3765 + 6,4496 + 12,25 + 3,9756 + 15,68 = 49,6442 \text{ кг}$$

Дополнительно для создания избыточной кислотности 10г/л требуется

$$10\text{г/л} \cdot 1500 \text{ л} = 15000 \text{ г} = 15 \text{ кг.}$$

$$(1500 = 1000\text{кг} \times 60/40 = 1500 \text{ ж.фазы, т.е. } \sim 1500 \text{ л})$$

Следовательно общий расход H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> составит

$$49,6442 + 15 = 64,6442 \text{ кг}$$

Суммарный расход  $\text{MnO}_2$

$$X_2 + t_2 = 0,2025 + 1,7647 = 1,9672 \text{ кг}$$

Суммарное количество полученного  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$

$$Z_2 + t_3 = 8,775 + 8,1136 = 16,8886 \text{ кг}$$

Количество оставшегося  $\text{FeSO}_4$

$$19 - 2,2718 \times 152/56 = 19 - 6,1663 = 12,8337 \text{ кг}$$

Количество воды, полученной по реакциям

$$X_5 + y_3 + z_3 + u_3 + t_5 + c_3 = 0,1676 + 1,9059 + 1,1846 + 2,25 + 0,7302 + 2,88 = 9,1183 \text{ кг}$$

Количество  $\text{MnSO}_4$

$$X_4 + t_4 = 0,3515 + 3,0629 = 3,4144 \text{ кг}$$

Теперь составляем таблицу материального баланса. В твердом остатке остается начальное количество, умноженное на  $(1-\varepsilon)$ , где  $\varepsilon$  – степень вскрытия.

## Материальный баланс сернокислотного выщелачивания

Приход		Расход	
Статьи	Количество, кг	Статьи	Количество, кг
Руда,	1000	1. Тв. остаток, в	981,51
в т.ч.		т.ч.	
U <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	2	U <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	0,04
SiO <sub>2</sub>	700	SiO <sub>2</sub>	696,5
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	90	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	86,4
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	54	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	50,49
FeO	20	FeO	11,0
CaCO <sub>3</sub>	16	CaSO <sub>4</sub>	19,08
другие	118	другие	118
		2. Продуктивный	1607,4615
		раствор, в т.ч.	
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	64,6442	UO <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	2,5559
MnO <sub>2</sub>	1,9672	H <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	4,55
		Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	12,0706
		Fe <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	16,8886
		FeSO <sub>4</sub>	12,8337
		MnSO <sub>4</sub>	3,4144
Вода	1500	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	15,0
		H <sub>2</sub> O	1508,0683
		CaSO <sub>4</sub>	3
		3. Газовая фаза	
		CO <sub>2</sub>	7,04
Итого	2566,6114		2566,9515