

# Материальный баланс многокомпонентной смеси

Практическое занятие

# Выбор задания для расчёта материального баланса

| вариант | состав | Изобутан | Н-бутан | Изопентан | Н-пентан | Н-гексан | Производительность<br>кг/ч |
|---------|--------|----------|---------|-----------|----------|----------|----------------------------|
| 1       | F      | 20       | 10      | 10        | 30       | 30       | 15000                      |
|         | D      |          | 1,0     | 0,2       | 0        | 0        |                            |
|         | W      | 0,5      |         |           |          |          |                            |
| 2       | F      | 15       | 15      | 15        | 25       | 30       | 20000                      |
|         | D      |          |         | 0,6       | 0,15     | 0        |                            |
|         | W      | 0,2      | 0,8     |           |          |          |                            |
| 3       | F      | 10       | 15      | 20        | 30       | 25       | 25000                      |
|         | D      |          |         |           | 1,5      | 0,4      |                            |
|         | W      | 0        | 0,5     | 2,0       |          |          |                            |
| 4       | F      | 30       | 30      | 10        | 10       | 20       | 30000                      |
|         | D      |          |         |           |          | 0,4      |                            |
|         | W      | 0        | 0       | 0,3       | 1,5      |          |                            |
| 5       | F      | 30       | 10      | 10        | 40       | 10       | 17000                      |
|         | D      |          | 0,7     | 0,15      | 0        | 0        |                            |
|         | W      | 0,4      |         |           |          |          |                            |
| 6       | F      | 25       | 15      | 30        | 15       | 15       | 22000                      |
|         | D      |          |         | 0,8       | 0,21     | 0        |                            |
|         | W      | 0,25     | 1,0     |           |          |          |                            |
| 7       | F      | 10       | 30      | 10        | 40       | 10       | 28000                      |
|         | D      |          |         | 1,86      | 0,14     | 0        |                            |
|         | W      | 0        | 0,17    | 15,59     |          |          |                            |
| 8       | F      | 10       | 10      | 40        | 20       | 20       | 19000                      |
|         | D      |          |         |           | 24,88    | 0        |                            |
|         | W      | 0        | 0       | 0,11      | 0,65     |          |                            |
| 9       | F      | 10       | 15      | 20        | 30       | 25       | 25000                      |
|         | D      |          |         |           | 1,5      | 0,4      |                            |
|         | W      | 0        | 0,5     | 2,0       |          |          |                            |
| 10      | F      | 10       | 30      | 10        | 40       | 10       | 36000                      |
|         | D      |          |         | 0,6       | 0,14     | 0        |                            |
|         | W      | 0        | 0,17    | 0,7       |          |          |                            |

| №  | состав исходной смеси, масс. дол.,% |           |        |           |          | Производит ельно сть, кг/ч | состав дистиллата, масс.дол.,% |              |          |              |          | состав кубового остатка, масс.дол.,% |              |          |              |          |
|----|-------------------------------------|-----------|--------|-----------|----------|----------------------------|--------------------------------|--------------|----------|--------------|----------|--------------------------------------|--------------|----------|--------------|----------|
|    | Н-пен тан                           | Н-гек сан | бензол | Н-геп тан | тол уо л |                            | Н - пе нт ан                   | Н - ге кс ан | бе нз ол | Н - ге пт ан | то лу ол | Н - пе нт ан                         | Н - ге кс ан | бе нз ол | Н - ге пт ан | то лу ол |
| 11 | 5,0                                 | 15,0      | 25,0   | 30,0      | 25,0     | 10000                      |                                |              | 0,8      | 0,2          | 0        | 0                                    | 0,3          |          |              |          |
| 12 | 1,0                                 | 16,0      | 30,0   | 23,0      | 30,0     | 20000                      |                                |              |          | 1,1          | 0,1      | 0                                    | 0            | 0,6      |              |          |
| 13 | 2,0                                 | 21,0      | 32,0   | 30,0      | 15,0     | 30000                      |                                |              |          | 0,7          | 0,1      | 0                                    | 0            | 0,5      |              |          |
| 14 | 4,0                                 | 25,0      | 28,0   | 35,0      | 18,0     | 40000                      |                                |              | 0,9      | 0,1          | 0        | 0,1                                  | 0,6          |          |              |          |
| 15 | 3,0                                 | 20,0      | 27,0   | 27,0      | 23,0     | 50000                      |                                |              | 0,5      | 0            | 0        | 0                                    | 0,5          |          |              |          |
| 16 | 3,0                                 | 16,0      | 11,0   | 20,0      | 50,0     | 11000                      |                                |              |          |              | 0,6      | 0                                    | 0            | 0,2      | 0,6          |          |
| 17 | 40,0                                | 20,0      | 20,0   | 10,0      | 10,0     | 12000                      |                                | 0,6          | 0,1      | 0            | 0        | 0,5                                  |              |          |              |          |
| 18 | 30,0                                | 14,0      | 11,0   | 20,0      | 25,0     | 13000                      |                                | 0,7          | 0,2      | 0            | 0        | 1,0                                  |              |          |              |          |
| 19 | 26,0                                | 12,0      | 18,0   | 21,0      | 23,0     | 14000                      |                                | 0,9          | 0,3      | 0            | 0        | 0,4                                  |              |          |              |          |
| 20 | 12,0                                | 18,0      | 40,0   | 20,0      | 10,0     | 15000                      |                                |              |          | 0,5          | 0,1      | 0                                    | 0            | 0,5      |              |          |
| 21 | 10,0                                | 15,0      | 26,0   | 26,0      | 23,0     | 16000                      |                                |              |          | 0,8          | 0,2      | 0                                    | 0            | 0,6      |              |          |
| 22 | 5,0                                 | 15,0      | 25,0   | 30,0      | 25,0     | 17000                      |                                |              | 0,8      | 0,2          | 0        | 0                                    | 0,3          |          |              |          |
| 23 | 1,0                                 | 16,0      | 30,0   | 23,0      | 30,0     | 18000                      |                                |              |          | 1,1          | 0,1      | 0                                    | 0            | 0,6      |              |          |
| 24 | 2,0                                 | 21,0      | 32,0   | 30,0      | 15,0     | 19000                      |                                |              |          | 0,7          | 0,1      | 0                                    | 0            | 0,5      |              |          |
| 25 | 4,0                                 | 25,0      | 28,0   | 35,0      | 18,0     | 25000                      |                                |              | 0,9      | 0,1          | 0        | 0,1                                  | 0,6          |          |              |          |
| 26 | 3,0                                 | 20,0      | 27,0   | 27,0      | 23,0     | 26000                      |                                |              | 0,5      | 0            | 0        | 0                                    | 0,5          |          |              |          |
| 27 | 3,0                                 | 16,0      | 11,0   | 20,0      | 50,0     | 27000                      |                                |              |          |              | 0,6      | 0                                    | 0            | 0,2      | 0,6          |          |
| 28 | 40,0                                | 20,0      | 20,0   | 10,0      | 10,0     | 28000                      |                                | 0,6          | 0,1      | 0            | 0        | 0,5                                  |              |          |              |          |
| 29 | 30,0                                | 14,0      | 11,0   | 20,0      | 25,0     | 29000                      |                                | 0,7          | 0,2      | 0            | 0        | 1,0                                  |              |          |              |          |
| 30 | 26,0                                | 12,0      | 18,0   | 21,0      | 23,0     | 30000                      |                                | 0,9          | 0,3      | 0            | 0        | 0,4                                  |              |          |              |          |
| 31 | 12,0                                | 18,0      | 40,0   | 20,0      | 10,0     | 31000                      |                                |              |          | 0,5          | 0,1      | 0                                    | 0            | 0,5      |              |          |
| 32 | 10,0                                | 15,0      | 26,0   | 26,0      | 23,0     | 31000                      |                                |              |          | 0,8          | 0,2      | 0                                    | 0            | 0,6      |              |          |
| 33 | 3,0                                 | 16,0      | 11,0   | 20,0      | 50,0     | 33000                      |                                |              |          |              | 0,6      | 0                                    | 0            | 0,2      | 0,6          |          |
| 34 | 40,0                                | 20,0      | 20,0   | 10,0      | 10,0     | 34000                      |                                | 0,6          | 0,1      | 0            | 0        | 0,5                                  |              |          |              |          |

# Оформляем таблицу материального баланса

# Исходные данные

| наименование | М,<br><u>кмоль</u><br>кг | питание  |               |                   |               | дистиллят |               |                   |               | куб  |               |                   |               |
|--------------|--------------------------|----------|---------------|-------------------|---------------|-----------|---------------|-------------------|---------------|------|---------------|-------------------|---------------|
|              |                          | кг/ч     | мас.<br>дол.% | <u>кмоль</u><br>ч | мол.<br>дол.% | кг/ч      | мас.<br>дол.% | <u>кмоль</u><br>ч | мол.<br>дол.% | кг/ч | мас.<br>дол.% | <u>кмоль</u><br>ч | мол.<br>дол.% |
| Изобутан     | 58                       |          | 10,00         |                   |               |           |               |                   |               |      | 0,00          |                   |               |
| н-бутан      | 58                       |          | 15,00         |                   |               |           |               |                   |               |      | 0,50          |                   |               |
| изопентан    | 72                       |          | 20,00         |                   |               |           |               |                   |               |      |               |                   |               |
| н-пентан     | 72                       |          | 30,00         |                   |               |           | 1,50          |                   |               |      |               |                   |               |
| н-гексан     | 86                       |          | 25,00         |                   |               |           | 0,40          |                   |               |      |               |                   |               |
| Итого:       |                          | 22550,00 | 100,00        |                   |               |           | 100,00        |                   |               |      | 100,00        |                   |               |

- В Microsoft Excel создаём таблицу материального баланса
- Вносим исходные данные для питания колонны, дистиллята и кубового остатка
- Вносим исходные данные по производительности колонны по питанию



# Производим расчет столбца «ПИТАНИЕ»

| наименование | М,<br>кмоль<br>кг | питание  |                |            |                | дистиллят |                |            |                | куб  |                |            |                |
|--------------|-------------------|----------|----------------|------------|----------------|-----------|----------------|------------|----------------|------|----------------|------------|----------------|
|              |                   | кг/ч     | мас.<br>дол. % | кмоль<br>ч | мол.<br>дол. % | кг/ч      | мас.<br>дол. % | кмоль<br>ч | мол.<br>дол. % | кг/ч | мас.<br>дол. % | кмоль<br>ч | мол.<br>дол. % |
| Изобутан     | 58                | 2255,0   | 10,00          | 38,88      | 12,17          |           |                |            |                |      | 0,00           |            |                |
| н-бутан      | 58                | 3382,5   | 15,00          | 58,32      | 18,26          |           |                |            |                |      | 0,50           |            |                |
| изопентан    | 72                | 4510,0   | 20,00          | 62,64      | 19,61          |           |                |            |                |      | 2,00           |            |                |
| н-пентан     | 72                | 6765,0   | 30,00          | 93,96      | 29,42          |           | 1,50           |            |                |      |                |            |                |
| н-гексан     | 86                | 5637,5   | 25,00          | 65,55      | 20,53          |           | 0,40           |            |                |      |                |            |                |
| Итого:       |                   | 22550,00 | 100,00         | 319,35     | 100,00         |           | 100,00         |            |                |      | 100,00         |            |                |

- Находим количество веществ

$22550,0 \cdot 10 / 100 = 2255,00$  кг/ч (остальные строки аналогично)

- Определяем количество вещества

$2255,0 / 58 = 38,88$  кмоль/ч (остальные аналогично)

- Находим сумму кмоль/ч

- Определяем мольные доли % компонентов

$(38,88 / 319,35) \cdot 100 = 12,17$  мол. дол. %



Решаем систему



# Уравнение материального баланса

---

## Основное уравнение материального баланса

$$F = D + W$$

Составляем систему уравнений

$$F * x_{f1} = D * x_{d1} + W * x_{w1}$$

$$F * x_{f2} = D * x_{d2} + W * x_{w2}$$

$$F * x_{f3} = D * x_{d3} + W * x_{w3}$$

$$F * x_{f4} = D * x_{d4} + W * x_{w4}$$

$$F * x_{f5} = D * x_{d5} + W * x_{w5}$$

$$\sum_{i=1} x_f = 1,0000$$

$$\sum_{i=1} x_d = 1,0000$$

$$\sum_{i=1} x_w = 1,0000$$

---

$$22550 * \left(\frac{10}{100}\right) = D * x_{d1} + W * 0$$

$$22550 * \left(\frac{15}{100}\right) = D * x_{d2} + W * \left(\frac{0,5}{100}\right)$$

$$22550,0 * \left(\frac{20}{100}\right) = D * x_{d3} + W * \left(\frac{2}{100}\right)$$

$$22550 * \left(\frac{30}{100}\right) = D * \left(\frac{1,5}{100}\right) + W * x_{w4}$$

$$22550 * \left(\frac{25}{100}\right) = D * \left(\frac{0,4}{100}\right) + W * x_{w5}$$

$$\sum_{i=1} x_f = 1,0000$$

$$\sum_{i=1} x_d = 1,0000$$

$$\sum_{i=1} x_w = 1,0000$$

---

---

$$2255,00 = D * x_{d1} + W * 0$$

$$3382,50 = D * x_{d2} + W * 0,005$$

$$4510,00 = D * x_{d3} + W * 0,02$$

$$6765,00 = D * 0,015 + W * x_{w4}$$

$$5637,50 = D * 0,004 + W * x_{w5}$$

$$\sum_{i=1} x_f = 1,0000$$

$$\sum_{i=1} x_d = 1,0000$$

$$\sum_{i=1} x_w = 1,0000$$



---

$$6765,00 + 5637,50 = D * 0,015 + D * 0,004 + W * x_{w4} + W * x_{W5}$$

$$12402,5 = D * (0,015 + 0,004) + W * (x_{w4} + x_{W5})$$

$$12402,5 = D * 0,019 + W * (x_{w4} + x_{W5})$$

$$(x_{w4} + x_{W5}) = 1 - 0 - 0,005$$

$$(x_{w4} + x_{W5}) = 0,995$$

$$12402,5 = D * 0,019 + W * 0,995$$

---



---

$$12402,5 = D * 0,019 + W * 0,995$$

- Выражаем  $D$ , согласно основному уравнению материального баланса

$$F = D + W$$

$$D = F - W$$

$$12402,5 = (F - W) * 0,019 + W * 0,975$$

$$12402,5 = (22550,0 - W) * 0,019 + W * 0,975$$

$$12402,5 = 428,45 - 0,019 * W + W * 0,975$$

$$12402,5 - 428,45 = 0,956 * W$$

---



$$12402,5 - 428,45 = 0,956 * W$$

---

$$11973,55 = 0,956 * W$$

$$W = \frac{11973,55}{0,956} = 12525,16 \text{ кг/ч}$$

$$D = F - W$$

$$D = 22550,00 - 12525,16 = 10024,84 \quad \text{кг/ч}$$



# Определяем состав дистиллята и питания

---

Определяем неизвестный состав  
дистиллята и кубового остатка





# Результат

| наименование | М  | питание  |             |         |             | дистиллят |             |         |             | куб      |       |         |             |
|--------------|----|----------|-------------|---------|-------------|-----------|-------------|---------|-------------|----------|-------|---------|-------------|
|              |    | кг/ч     | мас. дол. % | кмоль/ч | мол. дол. % | кг/ч      | мас. дол. % | кмоль/ч | мол. дол. % | кг/ч     | мас % | кмоль/ч | мол. дол. % |
| Изобутан     | 58 | 2255,00  | 10,00       | 38,88   | 12,17       | 2255,00   | 22,49       | 38,88   | 24,63       | 0,00     | 0,00  | 0,00    | 0,00        |
| н-бутан      | 58 | 3382,50  | 15,00       | 58,32   | 18,26       | 3319,87   | 33,12       | 57,24   | 36,27       | 62,63    | 0,50  | 1,08    | 0,67        |
| изопентан    | 72 | 4510,00  | 20,00       | 62,64   | 19,61       | 4259,50   | 42,49       | 59,16   | 37,48       | 250,50   | 2,00  | 3,48    | 2,15        |
| н-пентан     | 72 | 6765,00  | 30,00       | 93,96   | 29,42       | 150,37    | 1,50        | 2,09    | 1,32        | 6614,63  | 52,81 | 91,87   | 56,88       |
| н-гексан     | 86 | 5637,50  | 25,00       | 65,55   | 20,53       | 40,10     | 0,40        | 0,47    | 0,30        | 5597,40  | 44,69 | 65,09   | 40,30       |
| Итого:       |    | 22550,00 | 100,0       | 319,35  | 100,0       | 10024,84  | 100,00      | 157,83  | 100,0       | 12525,16 | 100   | 161,51  | 100,0       |