

Практическое занятие №3

по массопередаче на тему «Абсорбция»

(В. Филиппов, СамГТУ)

Задача 1

В абсорбере предполагается проводить поглощение паров бензола (это целевой компонент – ЦК) из какого-то газа маслом. Начальная концентрация бензола в газе 4% (объёмн.); улавливается 80% бензола (это так называемая **степень поглощения S_n**). Концентрация бензола в масле, вытекающем из аппарата, 0,02 кмоль бенз./кмоль чистого масла. Масло, поступающее в абсорбер, бензола не содержит. Уравнение равновесной линии в относительных мольных концентрациях $Y^* = 0,126X$.

Требуется определить среднюю движущую силу и общее число единиц переноса по газовой и жидкой фазам.

Решение

Начинаем анализировать условие задачи

Задана объёмная концентрация бензола в газе 4%. Вспоминаем, что для газов и паров, согласно закону Авогадро, объёмная доля равна мольной. Следовательно, можем считать, что $y_n = 0,04$.

Далее. Сказано, что масло, поступающее в аппарат, не содержит бензола. Это означает, что $x_n = 0$. Т.е. **точка, отвечающая верху абсорбера, будет лежать на оси ординат**. А раз равно нулю содержание бензола в жидкой фазе x , то будет равна нулю и равновесная концентрация бензола в газе $y_n^* = 0$. Нет компонента в одной фазе – нет его и в другой. Это нам потребуется для расчёта движущей силы для верха колонны.

Важно! Мы должны определиться, в каких единицах будем вести расчёт – в массовых или мольных. Ответ очень простой: в тех, в которых задана линия равновесия. В условии задачи линия равновесия задана в относительных мольных концентрациях. Значит, и мы решаем в мольных единицах.

Теперь изобразим схему процесса и равновесную и рабочую линии.

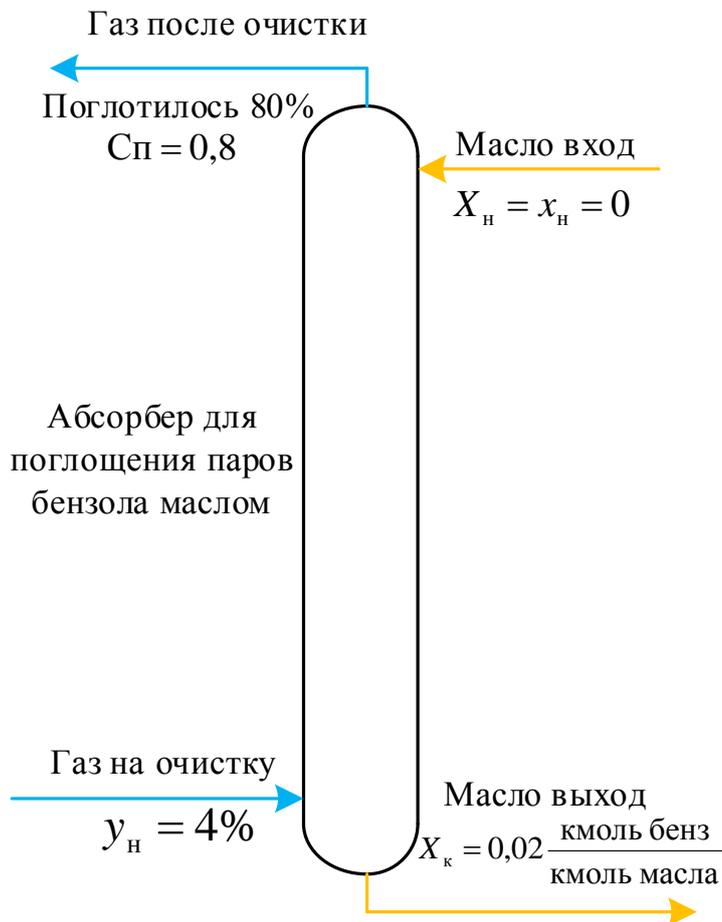


Рис. 1. Принципиальная схема процесса поглощения паров бензола маслом

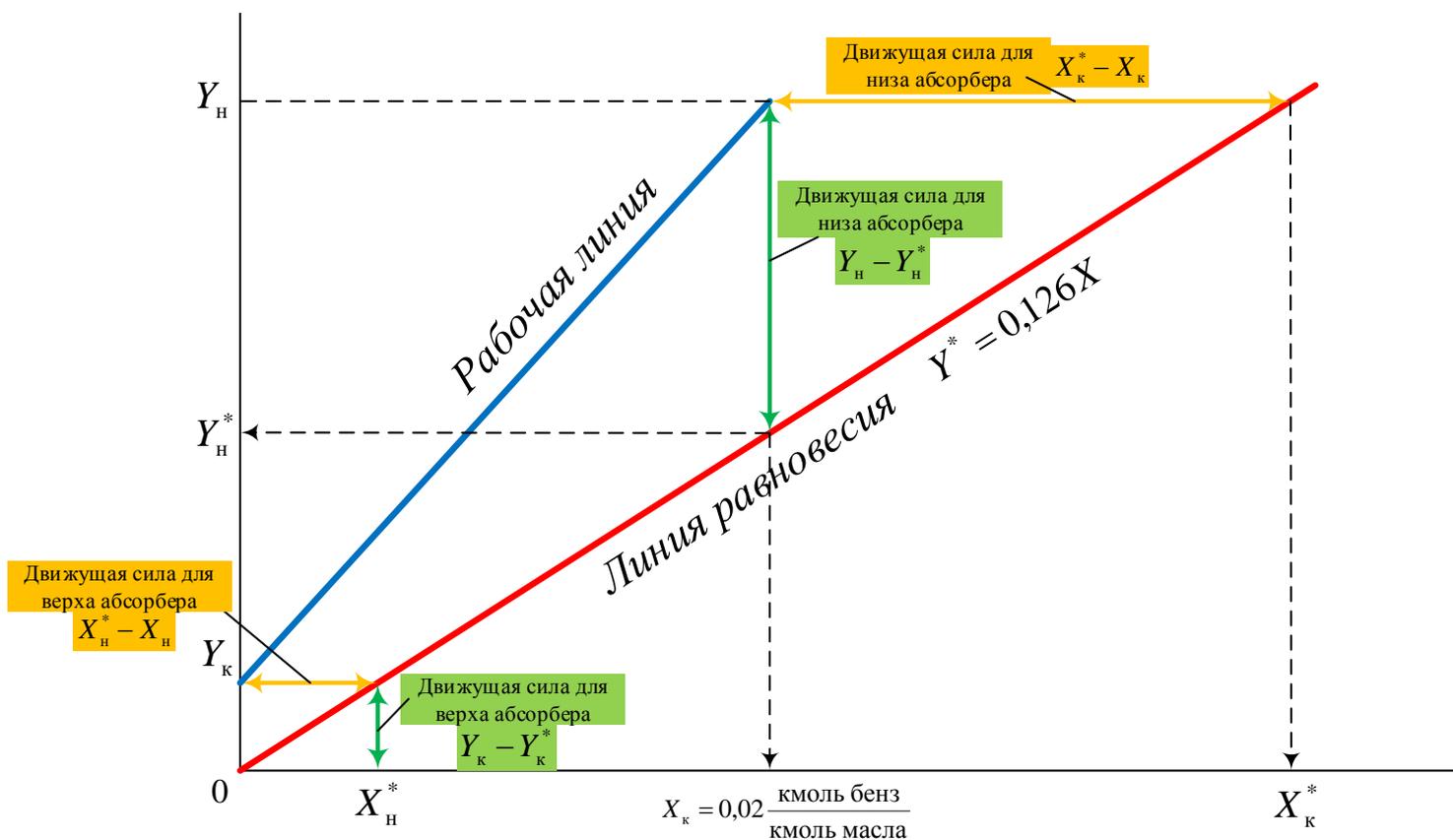


Рис. 2. Расчёт движущей силы по газовой и жидкой фазам

Алгоритм решения

(расчётов нет – вы их выполняете сами и прикрепляете в ЛК решения)

1. Переходим из мольной (объёмной) доли бензола в газовой фазе в его относительную мольную концентрацию

$$Y_n = \frac{y_n}{1 - y_n}, \frac{\text{кмоль бензола}}{\text{кмоль газа}}$$

2. Зная степень поглощения бензола $C_{\Pi} = 80\%$, находим его конечную концентрацию в газовой фазе на выходе из абсорбера Y_k . В формулу подставляем значение 0,8.

$$Y_k = Y_n(1 - C_{\Pi}), \frac{\text{кмоль бензола}}{\text{кмоль газа}}$$

3. По значению конечной концентрации бензола в выходящем масле, используя уравнение линии равновесия, находим равновесную концентрацию бензола во входящем газе Y_n^* . Жидкость, покидающая абсорбер, хотела бы быть в равновесии именно с этим газом. Но, увы, не суждено. В аппарат заходит газ с концентрацией Y_n . И вот разность между рабочей и равновесной концентрациями – это и есть движущая сила для низа абсорбера.
4. По значениям четырёх концентраций бензола в газе находим движущую силу процесса ΔY_{cp}

$$\Delta Y_{cp} = \frac{(Y_n - Y_n^*) - (Y_k - Y_k^*)}{\ln \frac{Y_n - Y_n^*}{Y_k - Y_k^*}} \frac{\text{кмоль бензола}}{\text{кмоль газа}}$$

5. Вспоминаем, что такое число единиц переноса n_y . (смотрим слайд 18 лекции <http://filippov.samgtu.ru/sites/filippov.samgtu.ru/files/06-02.pdf>)

$$\Delta Y_{cp} = \frac{Y_n - Y_k}{n_y}$$

Отсюда находим число единиц переноса n_y . **ЧЭП – величина безразмерная!**

6. С газовой фазой закончили. Переходим к жидкой. Для нахождения движущей силы для низа абсорбера вычисляем равновесную концентрацию бензола в масле X_k^* , используя уравнение линии равновесия

$$X_{\kappa}^* = \frac{Y_{\text{н}}}{0,126}, \frac{\text{кмоль бензола}}{\text{кмоль масла}}$$

Это даст возможность вычислить разность $X_{\kappa}^* - X_{\kappa}$.

7. Снова используем уравнение линии равновесия и вычисляем $X_{\text{н}}^*$. Это позволит вычислить разность $X_{\text{н}}^* - X_{\text{н}}$. Помним, что по условию задачи масло, поступающее на абсорбцию, бензола не содержит, т.е. $X_{\text{н}} = 0$

8. Используем формулу и находим среднюю движущую силу по жидкой фазе

$$\Delta X_{cp} = \frac{(X_{\kappa}^* - X_{\kappa}) - (X_{\text{н}}^* - X_{\text{н}})}{\ln \frac{X_{\kappa}^* - X_{\kappa}}{X_{\text{н}}^* - X_{\text{н}}}}, \frac{\text{кмоль бензола}}{\text{кмоль масла}}$$

9. Опять смотрим мою лекцию (если забыли) и вычисляем число единиц переноса по жидкой фазе n_x

$$\Delta X_{cp} = \frac{X_{\kappa} - X_{\text{н}}}{n_x}$$

Задача 2

В абсорбер подаётся $1800 \text{ м}^3/\text{час}$ (при н.у.) воздуха с содержанием целевого компонента 6% (об.). Степень поглощения ($C_{\text{п}}$) равна 85% . Абсорбент, поступающий колонну, целевого компонента не содержит. Уравнение линии равновесия в относительных мольных концентрациях $Y^* = 1.28X$. Коэффициент избытка абсорбента $\varphi = 1.5$. Определить движущую силу процесса по газовой и жидкой фазам и расход абсорбента.

Решение

Сначала схема процесса

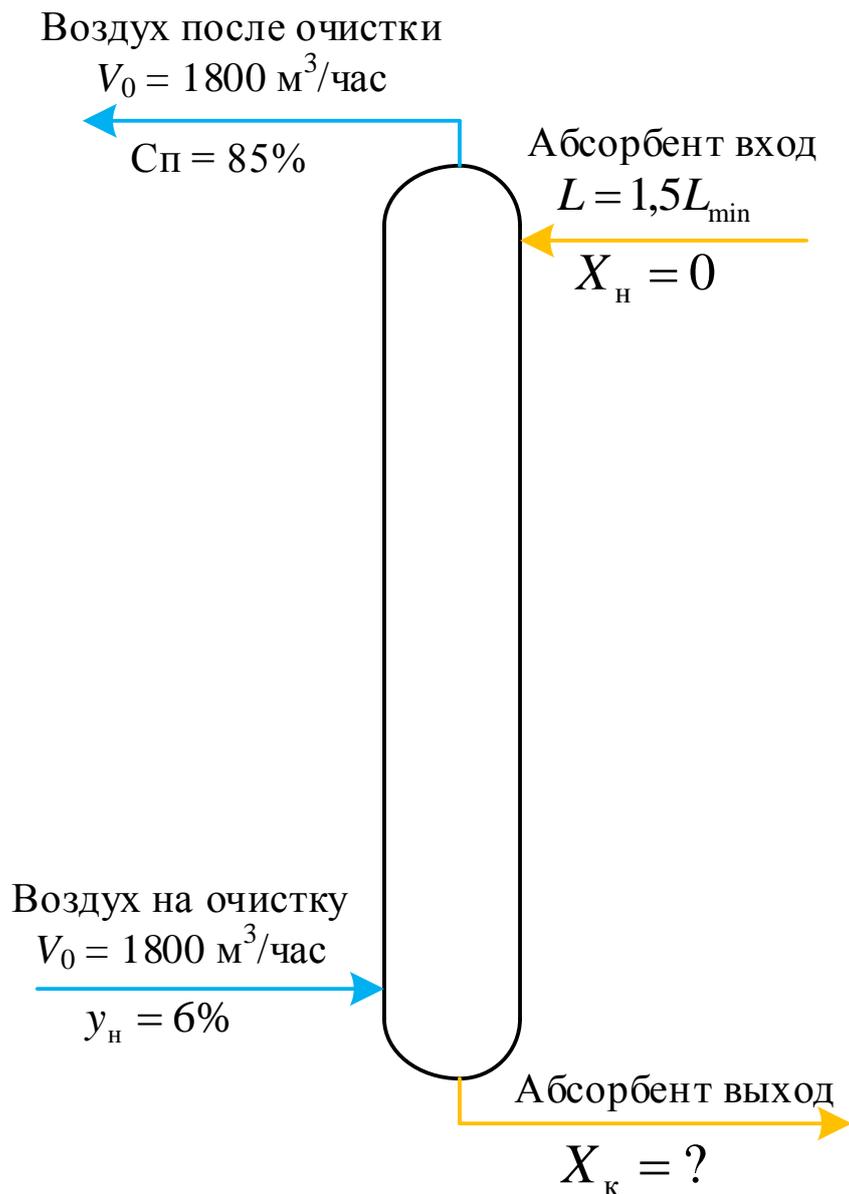


Рис. 3. Схема процесса поглощения целевого компонента (ЦК) из воздуха

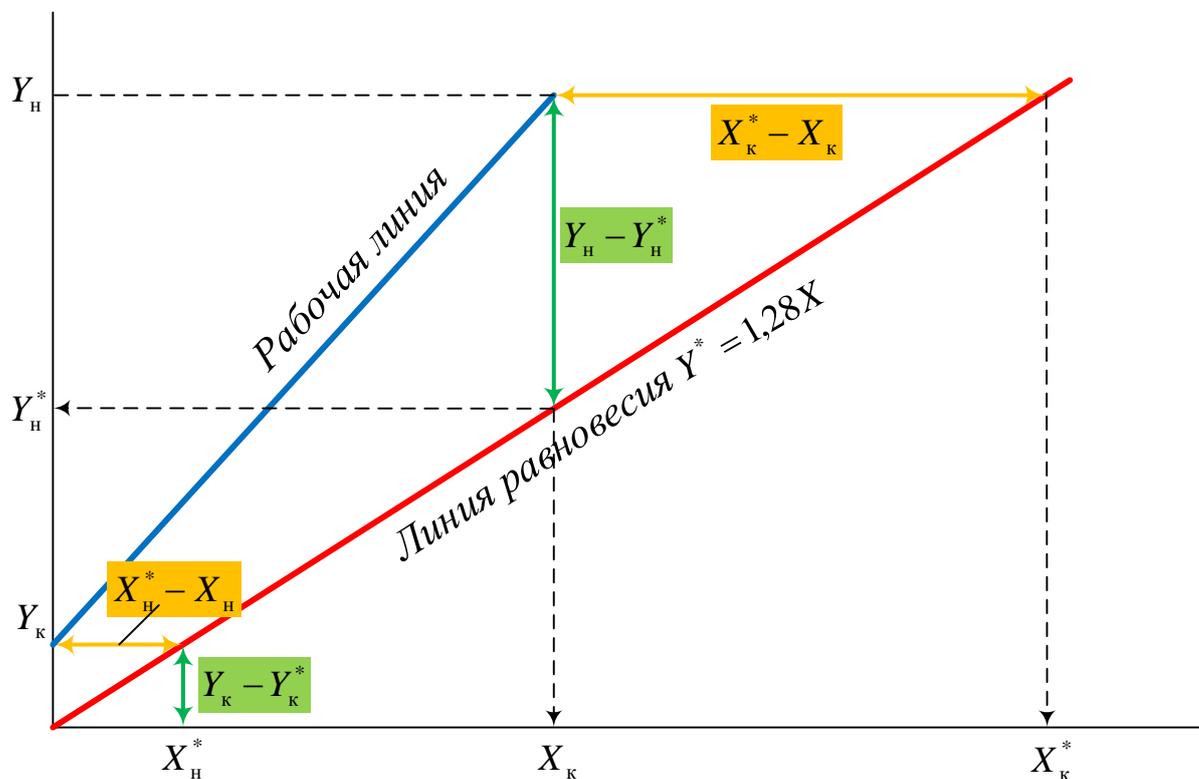


Рис. 4. Рабочая и равновесная линии процесса

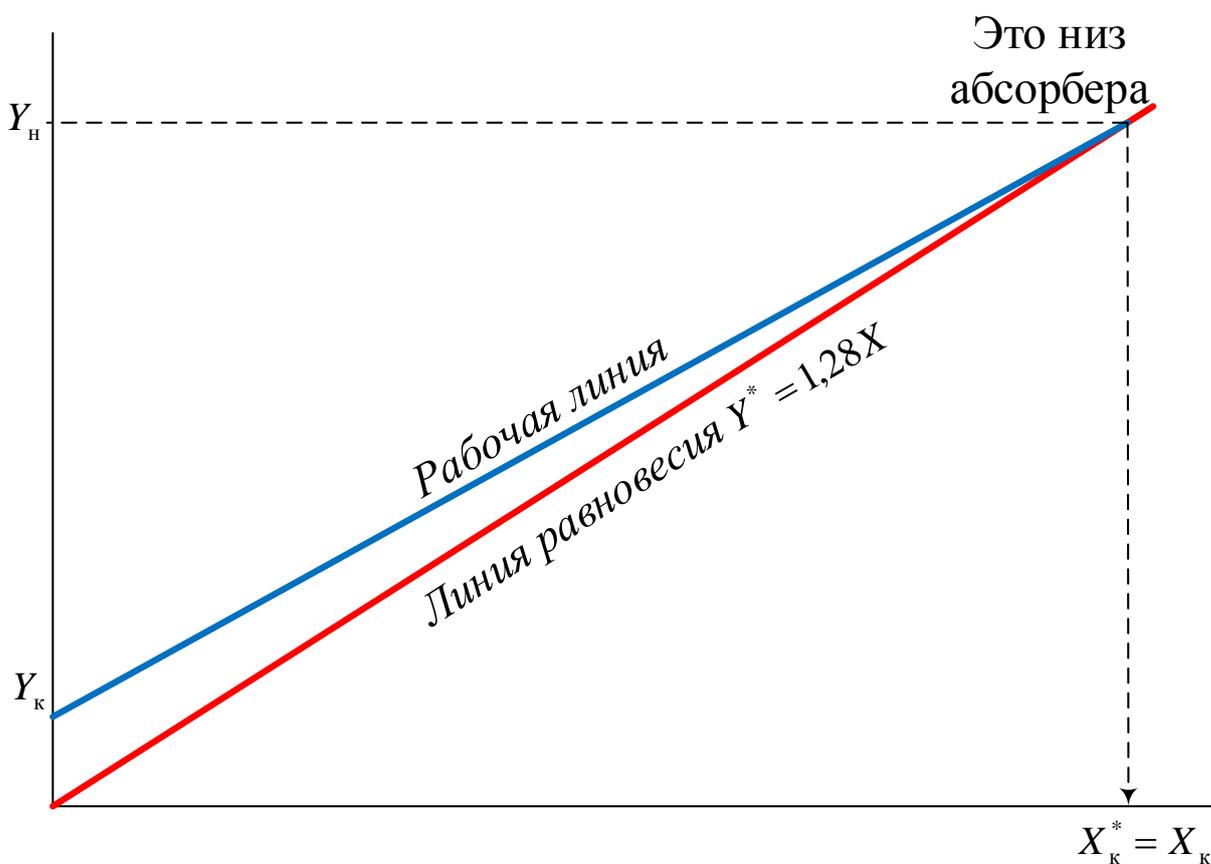


Рис. 5. Положение рабочей линии при минимальной подаче абсорбента L_{\min}

Иллюстрация процесса показана на рис. 3, 4 и 5.

В этой задаче единицы измерения не показываю – сами должны их знать.

Важно! Первое, с чем мы должны определиться, это в каких единицах будем вести расчёт – в массовых или мольных. Ответ очень простой: в тех, в которых задана линия равновесия. В условии задачи линия равновесия задана в **мольных единица**. Значит, и мы решаем в мольных единицах.

1. Мольный расход воздуха, кмоль/час

$$G = \frac{V_0}{22.4}, \frac{\text{кмоль}}{\text{час}}$$

2. Начальная относительная мольная концентрация ЦК в воздухе на входе в абсорбер (низ аппарата)

$$Y_H = \frac{y_H}{1 - y_H}$$

3. Конечная относительная мольная концентрация целевого компонента в воздухе на выходе из абсорбера (верх аппарата)

$$Y_K = Y_H(1 - Cn)$$

4. Равновесная концентрация ЦК в жидкой фазе на выходе из абсорбера

$$X_K^* = \frac{Y_H}{1,28}$$

5. Минимальный расход абсорбента L_{\min} , кмоль/час. При этом расходе рабочая и равновесная линии пересекаются (рисунок 5). Движущая сила для низа аппарата становится равной нулю. Процесс прекращается. В реальном процессе это невозможно. Но найти минимальный расход абсорбента мы можем и обязаны

$$L_{\min} = G \frac{Y_H - Y_K}{X_K^* - X_H}$$

6. Для расчёта фактического расхода абсорбента L минимальный расход L_{\min} увеличиваем на коэффициент φ

$$L = \varphi L_{\min}$$

7. Фактическая конечная относительная мольная концентрация ЦК в жидкой фазе (абсорбенте), покидающем колонну, равна

$$X_{\kappa} = \frac{G(Y_{\text{н}} - Y_{\kappa})}{L} + X_{\text{н}}$$

8. Равновесная концентрация целевого компонента для входящей газовой фазы (низ аппарата) равна

$$Y_{\text{н}}^* = 1.28X_{\kappa}$$

9. Теперь можем найти среднюю движущую силу процесса абсорбции, выраженную через концентрации в газовой фазе

$$\Delta Y_{cp} = \frac{(Y_{\text{н}} - Y_{\text{н}}^*) - (Y_{\kappa} - Y_{\kappa}^*)}{\ln \frac{Y_{\text{н}} - Y_{\text{н}}^*}{Y_{\kappa} - Y_{\kappa}^*}}$$

10. Начальная равновесная концентрация ЦК во входящем абсорбенте

$$X_{\text{н}}^* = \frac{Y_{\kappa}}{1.28}$$

11. Средняя движущая сила процесса по жидкой фазе

$$\Delta X_{cp} = \frac{(X_{\kappa}^* - X_{\kappa}) - (X_{\text{н}}^* - X_{\text{н}})}{\ln \frac{X_{\kappa}^* - X_{\kappa}}{X_{\text{н}}^* - X_{\text{н}}}}$$

Задача 3

В абсорбере производится поглощение паров ацетона из воздуха чистой водой. Начальная концентрация ацетона 150 г на 1 м³ чистого воздуха (при н.у.). Степень поглощения 87%. Конечная концентрация ацетона в воде после проведения процесса 75% от максимально возможной. Расход **чистого** воздуха 1500 м³/час (при н.у.). Уравнение линии равновесия в относительных массовых концентрациях $\bar{Y}^* = 1,4\bar{X}$. Определить среднюю движущую силу по газовой и жидкой фазам и требуемый расход воды в м³/час.

Решение

Снова изобразим схему процесса абсорбции и рабочую и равновесную линии (рис. 6 и 7)

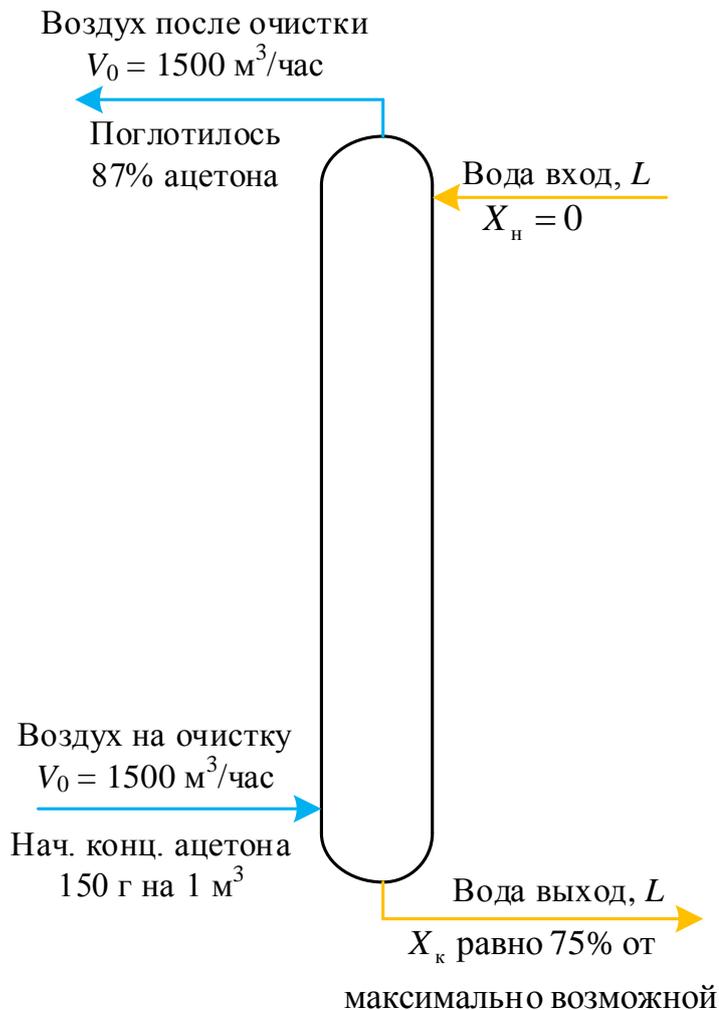


Рис. 6. Схема процесса поглощения паров ацетона из воздуха водой

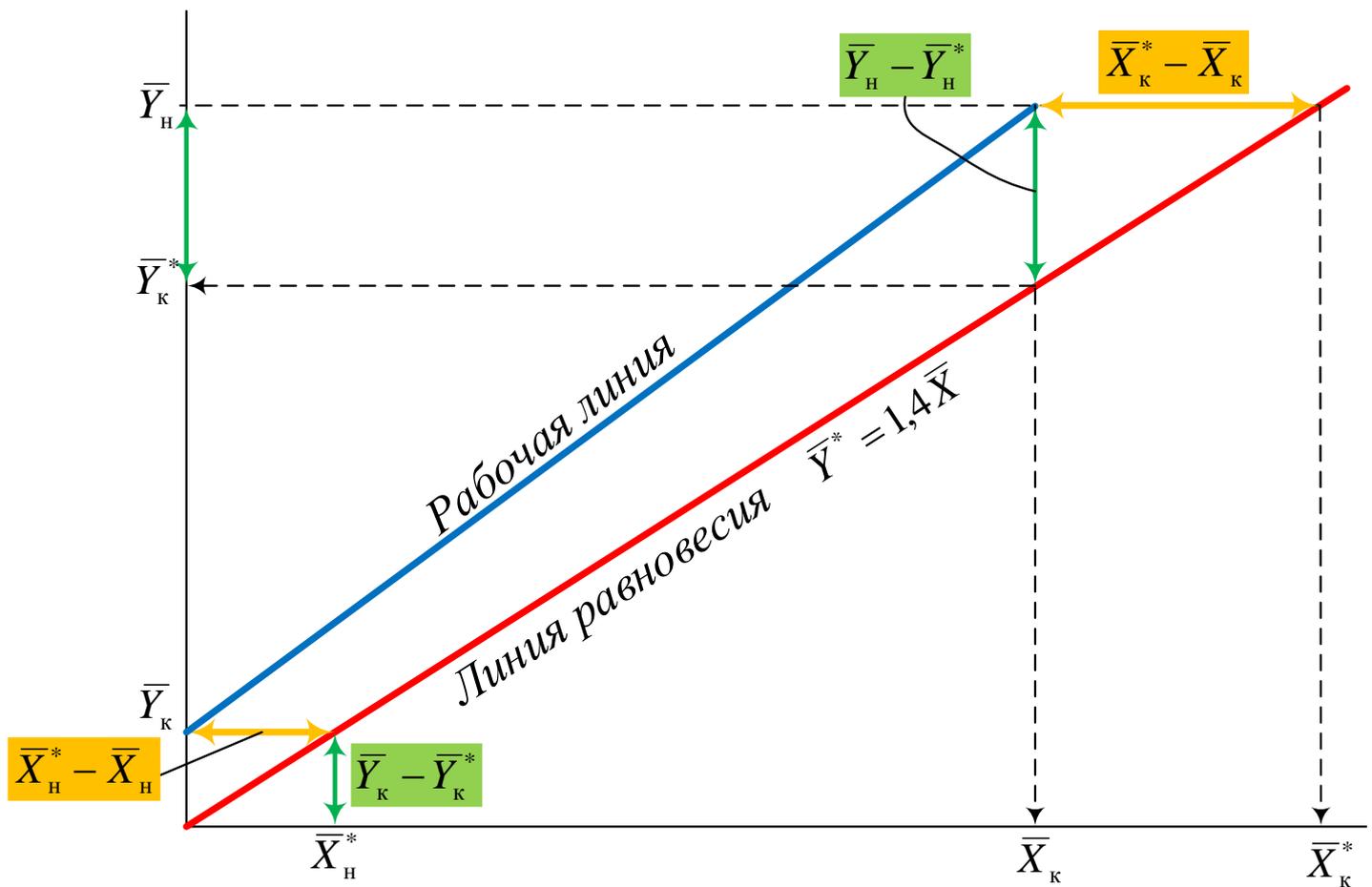


Рис. 7. Рабочая и равновесная линии процесса абсорбции паров ацетона из воздуха водой

Важно! Линия равновесия задана в относительных массовых концентрациях. Поэтому и мы все величины будем переводить в массовые.

1. Перейдём в относительную массовую концентрацию \bar{Y}_H . Т.е. 150 г. пара ацетона на 1 м³ чистого воздуха нам нужно перевести в кг ацетона/кг воздуха. Как? Так вы знаете!

2. Конечная концентрация ацетона в воздухе

$$\bar{Y}_K = \bar{Y}_H (1 - C_{\text{П}}) \frac{\text{кг ацетона}}{\text{кг ВОЗД.}}$$

3. Равновесная концентрация ацетона в воде (максимально возможная)

$$\bar{X}_K^* = \frac{\bar{Y}_H}{1,4} \frac{\text{кг ацетона}}{\text{кг ВОДЫ}}$$

4. Фактическая концентрация ацетона в воде после процесса по условию задачи 75% от максимально возможной

$$\bar{X}_\kappa = 0,75 \times \bar{X}_\kappa^* \frac{\text{кг ацетона}}{\text{кг воды}}$$

5. Массовый расход воздуха выразим в кг/час. Не обязательно тупо следовать системе СИ – вы уже должны понимать, когда от неё можно и отойти.

$$G = V \cdot \rho \frac{\text{кг}}{\text{час}}$$

6. Массовый расход воды

$$L = G \frac{\bar{Y}_\text{н} - \bar{Y}_\kappa}{\bar{X}_\kappa - \bar{X}_\text{н}}, \frac{\text{кг}}{\text{час}}$$

7. Вычисляем объёмный расход воды. Значение плотности берём при 20°C (да хоть и при 30°C).

$$V_{\text{вода}} = \frac{L}{\rho}, \frac{\text{м}^3}{\text{час}}$$

8. Равновесная концентрация ацетона в воздухе для низа аппарата

$$\bar{Y}_\text{н}^* = 1,4 \times \bar{X}_\kappa, \frac{\text{кг ацетона}}{\text{кг возд.}}$$

9. Средняя движущая сила по газовой фазе

$$\Delta \bar{Y}_{cp} = \frac{(\bar{Y}_\text{н} - \bar{Y}_\text{н}^*) - (\bar{Y}_\kappa - \bar{Y}_\kappa^*)}{\ln \frac{\bar{Y}_\text{н} - \bar{Y}_\text{н}^*}{\bar{Y}_\kappa - \bar{Y}_\kappa^*}}, \frac{\text{кг ацетона}}{\text{кг воздуха}}$$

10. Начальная равновесная концентрация ацетона во входящей воде (верх аппарата)

$$\bar{X}_\text{н}^* = \frac{\bar{Y}_\kappa}{1,4}, \frac{\text{кг ацетона}}{\text{кг воды}}$$

11. Средняя движущая сила по жидкой фазе

$$\Delta \bar{X}_{cp} = \frac{(\bar{X}_\kappa^* - \bar{X}_\kappa) - (\bar{X}_\text{н}^* - \bar{X}_\text{н})}{\ln \frac{\bar{X}_\kappa^* - \bar{X}_\kappa}{\bar{X}_\text{н}^* - \bar{X}_\text{н}}}, \frac{\text{кг ацетона}}{\text{кг воды}}$$