

Способы выражения концентраций

Название	Что показывает	Обозначение	
		Φ_x	Φ_y
Массовая доля	$\frac{\text{кг } A}{\text{кг } (A + B)}$	\bar{x}	\bar{y}
Молярная доля	$\frac{\text{кмоль } A}{\text{кмоль } (A + B)}$	x	y
Относительная концентрация	массовая $\frac{\text{кг } A}{\text{кг } B}$	\bar{X}	\bar{Y}
Относительная концентрация	молярная $\frac{\text{кмоль } A}{\text{кмоль } B}$	X	Y
Объёмная концентрация	массовая $\frac{\text{кг } A}{\text{м}^3 (A + B)}$	\bar{C}_x	\bar{C}_y
Объёмная концентрация	молярная $\frac{\text{кмоль } A}{\text{м}^3 (A + B)}$	C_x	C_y

Уравнение массопередачи

$$M = K_x F \Delta x_{cp}$$

$$M = K_y F \Delta y_{cp}$$

Сравним

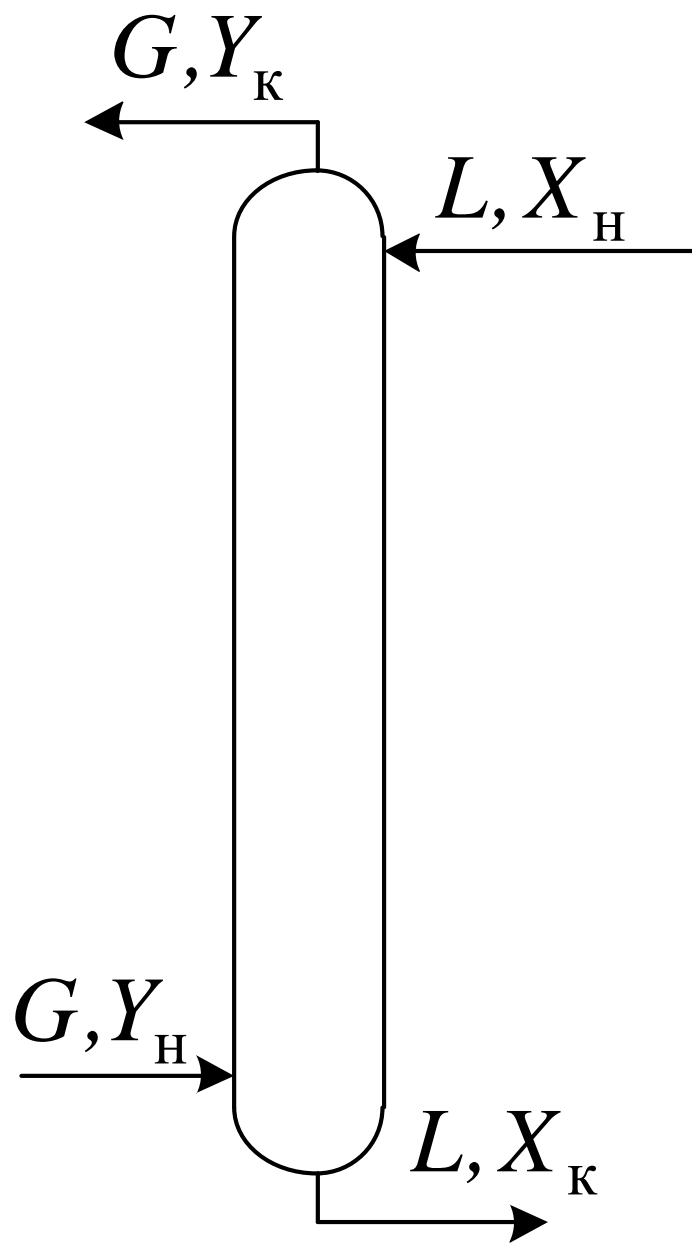
$$Q = KF \Delta t_{cp}$$

Аналогия процессов тепло- и массопередачи

Теплообмен	Массообмен
Основное уравнение теплопередачи $Q = KF\Delta t_{cp}$	Уравнение массопередачи $M = K_x F \Delta x_{cp}; M = K_y F \Delta y_{cp}$
$Q, Вт = \frac{Дж}{с}$, находится из уравнения теплового баланса	M , кг/с, находится из уравнения материального баланса
Δt_{cp} – средняя разность температур, движущая сила процесса	$\Delta x_{cp}, \Delta y_{cp}$ – средние разности концентраций, движущие силы переноса массы
K – коэффициент теплопередачи, характеризует интенсивность протекания процесса. Характеризует кинетику процесса.	K_x и K_y – коэффициенты массопередачи, характеризуют интенсивность переноса вещества. Тоже характеризует кинетику процесса.
F – поверхность теплопередачи, м ² , величина понятная и осязаемая	F – поверхность контакта фаз, величина не очень понятная и неосязаемая
Процесс теплопередачи складывается из двух стадий, двух процессов теплоотдачи. Потоки разделены стенкой.	Процесс массопереноса также складывается из двух процессов массоотдачи: от ядра Φ_y к её границе и от границы в ядро Φ_x (если говорим про абсорбцию)

Материальный баланс процессов массопередачи Уравнение рабочей линии

Рассмотрим в качестве примера
процесс абсорбции



Материальный баланс: вход целевого компонента равен его выходу

$$GY_{\text{Н}} + LX_{\text{Н}} = GY_{\text{К}} + LX_{\text{К}}$$

Тогда

$$M = G(Y_{\text{Н}} - Y_{\text{К}}) = L(X_{\text{К}} - X_{\text{Н}}).$$

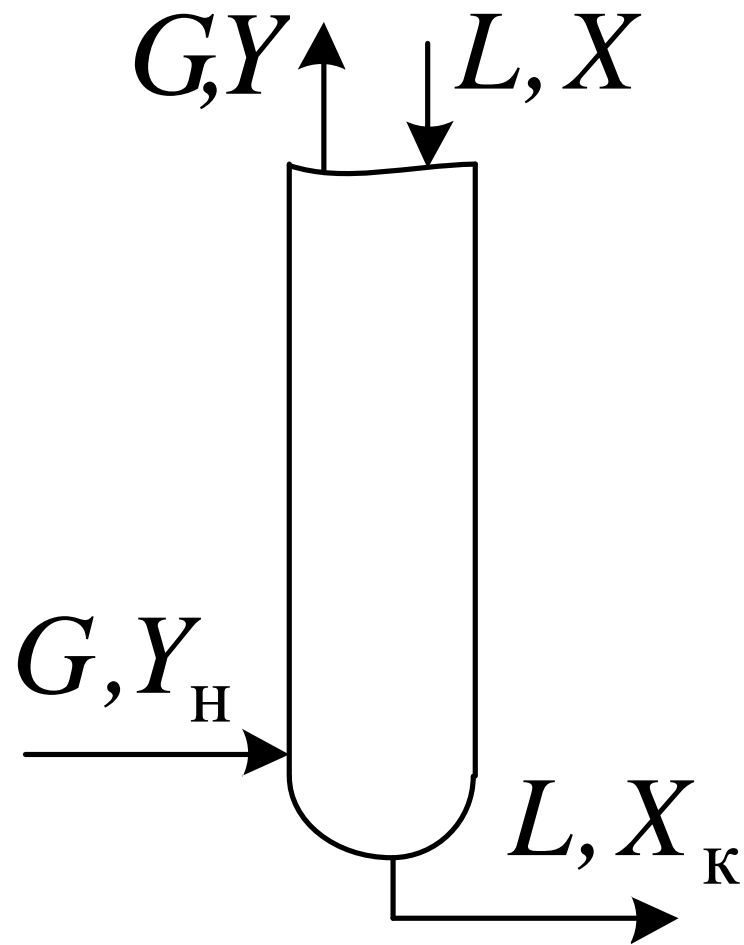
Это и есть уравнение материального баланса процесса абсорбции

Уравнение рабочей линии

Рабочая линия связывает концентрации компонента в фазах, между которыми он перемещается. Т.е. надо установить связь

$$Y = f(X)$$

Составим материальный баланс произвольного сечения абсорбера



$$GY_H + LX = GY + LX_K$$

Отсюда получаем

$$G(Y_H - Y) = L(X_K - X)$$

Выразим зависимость Y от X , получим

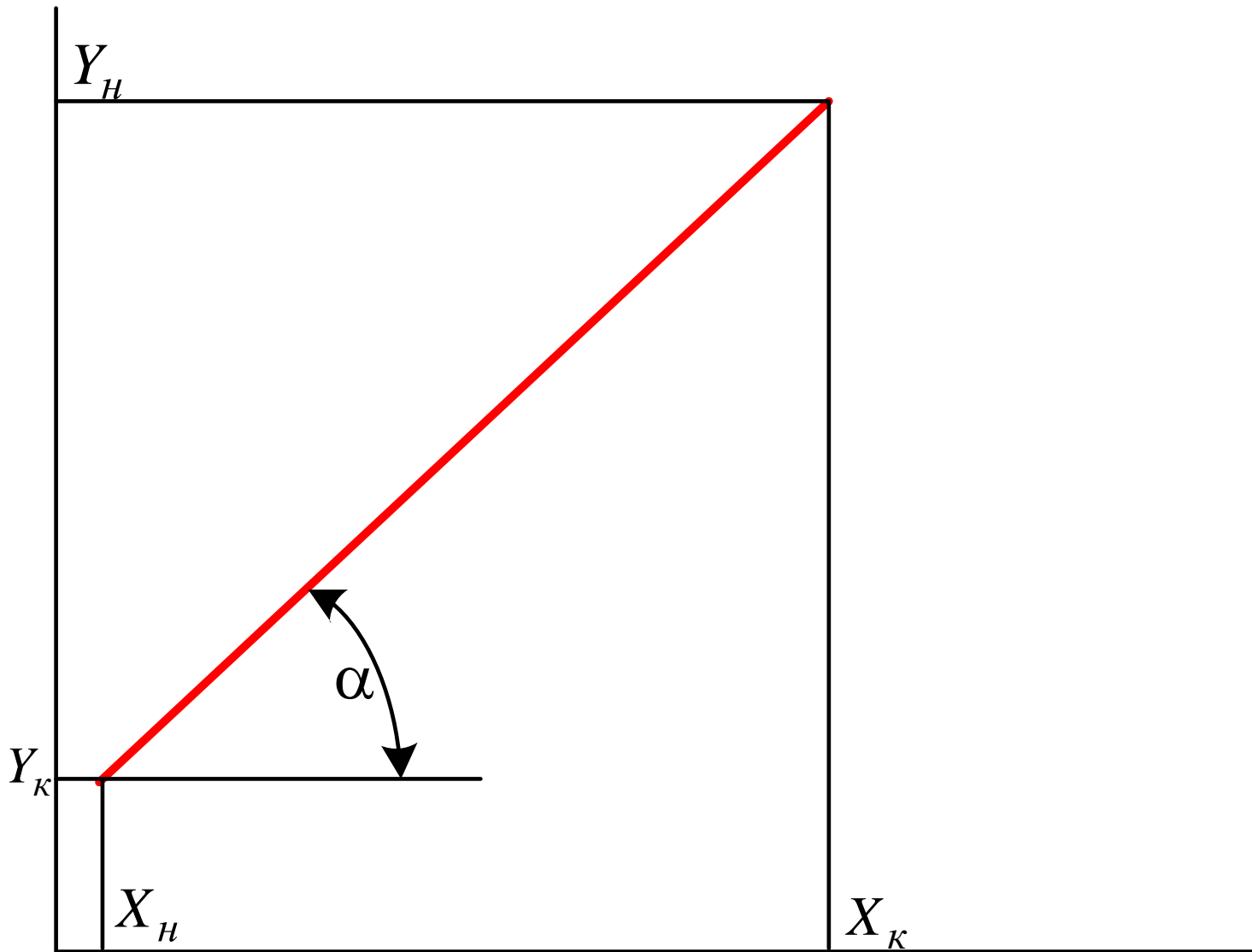
$$Y = \frac{GY_H - LX_K + LX}{G} = \frac{L}{G}X + Y_H - \frac{L}{G}X_K$$

Это и есть уравнение рабочей линии процесса абсорбции. С точки зрения линейной алгебры, это уравнение вида

$$y = Ax + B$$

$$A = \frac{L}{G} = \operatorname{tg} \alpha \qquad B = Y_H - \frac{L}{G}X_K$$

Содержание целевого компонента в газовой фазе, Y

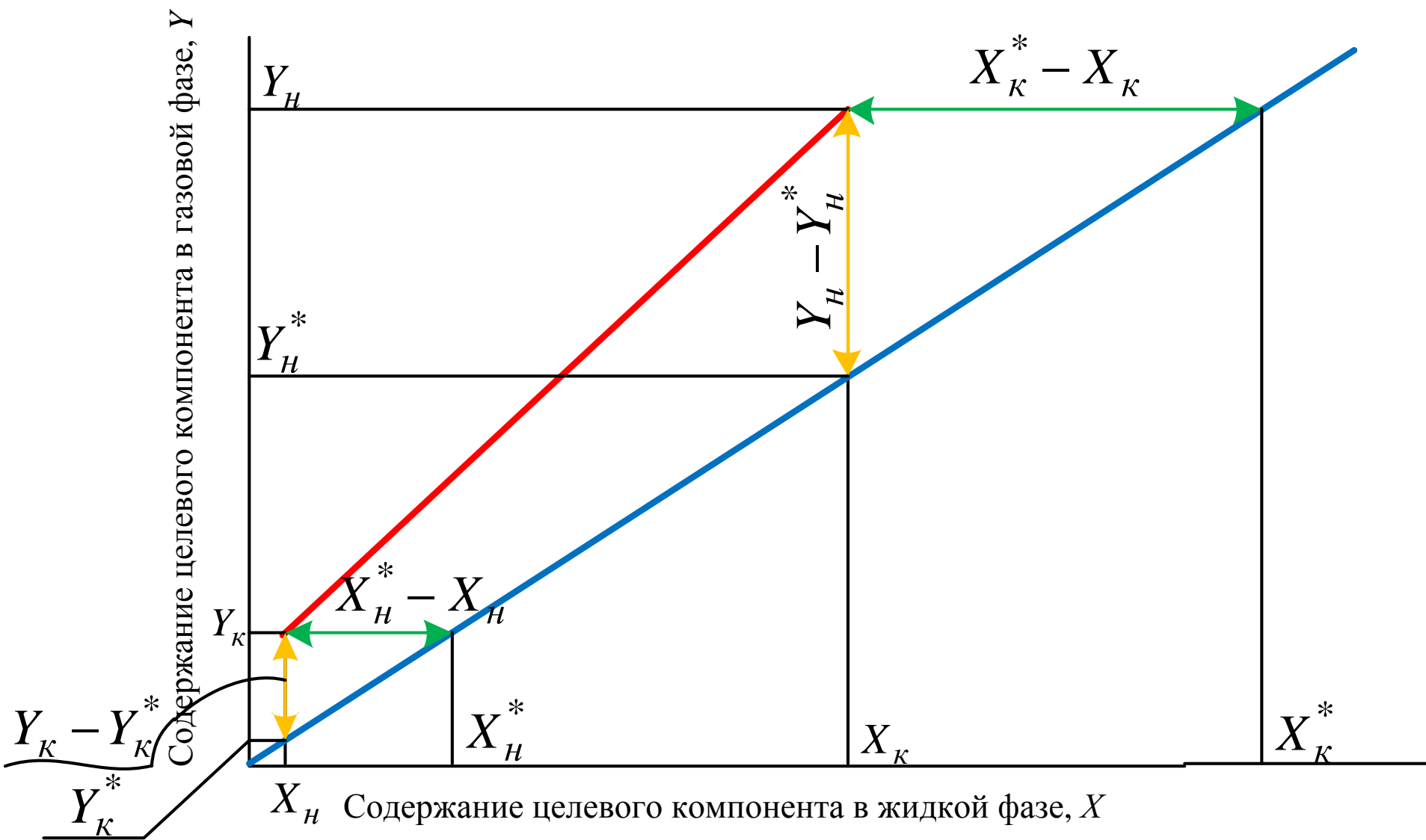


Содержание целевого компонента в жидкой фазе, X

Способы выражения движущей силы процесса массопередачи

Способ выражения зависит от того, является ли линия равновесия прямой. Или она прямолинейна.

Сначала рассмотрим простой случай – линия равновесия прямая.



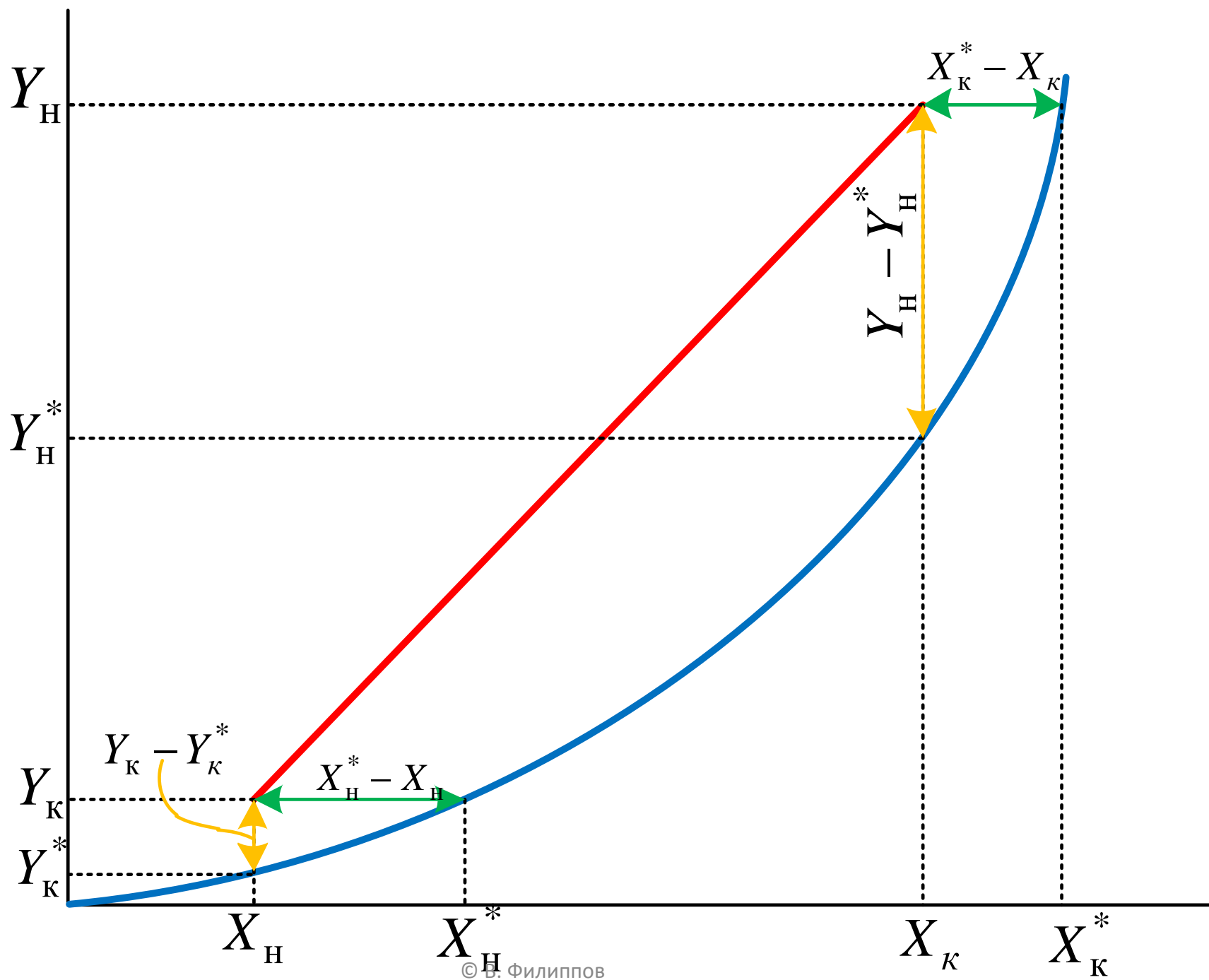
Расчёт движущей силы проводится по формулам

$$\Delta Y_{cp} = \frac{(Y_H - Y_H^*) - (Y_K - Y_K^*)}{\ln \frac{Y_H - Y_H^*}{Y_K - Y_K^*}}$$

$$\Delta X_{cp} = \frac{(X_K^* - X_K) - (X_H^* - X_H)}{\ln \frac{X_K^* - X_K}{X_H^* - X_H}}$$

Линия равновесия криволинейна.

В этом случае расчёт усложнится



Теперь движущая сила по высоте колонны будет сначала увеличиваться, потом уменьшаться.

Для расчёта движущей силы в этом случае можно использовать понятие «число единиц переноса (ЧЕП) n_y и n_x ».

$$\Delta Y_{cp} = \frac{Y_H - Y_K}{n_y} \quad \Delta X_{cp} = \frac{X_K - X_H}{n_x}$$

где

$$n_y \equiv \int_{Y_k}^{Y_H} \frac{dY}{Y - Y^*}$$

число единиц переноса по
газовой фазе

$$n_x \equiv \int_{X_H}^{X_k} \frac{dX}{X^* - X}$$

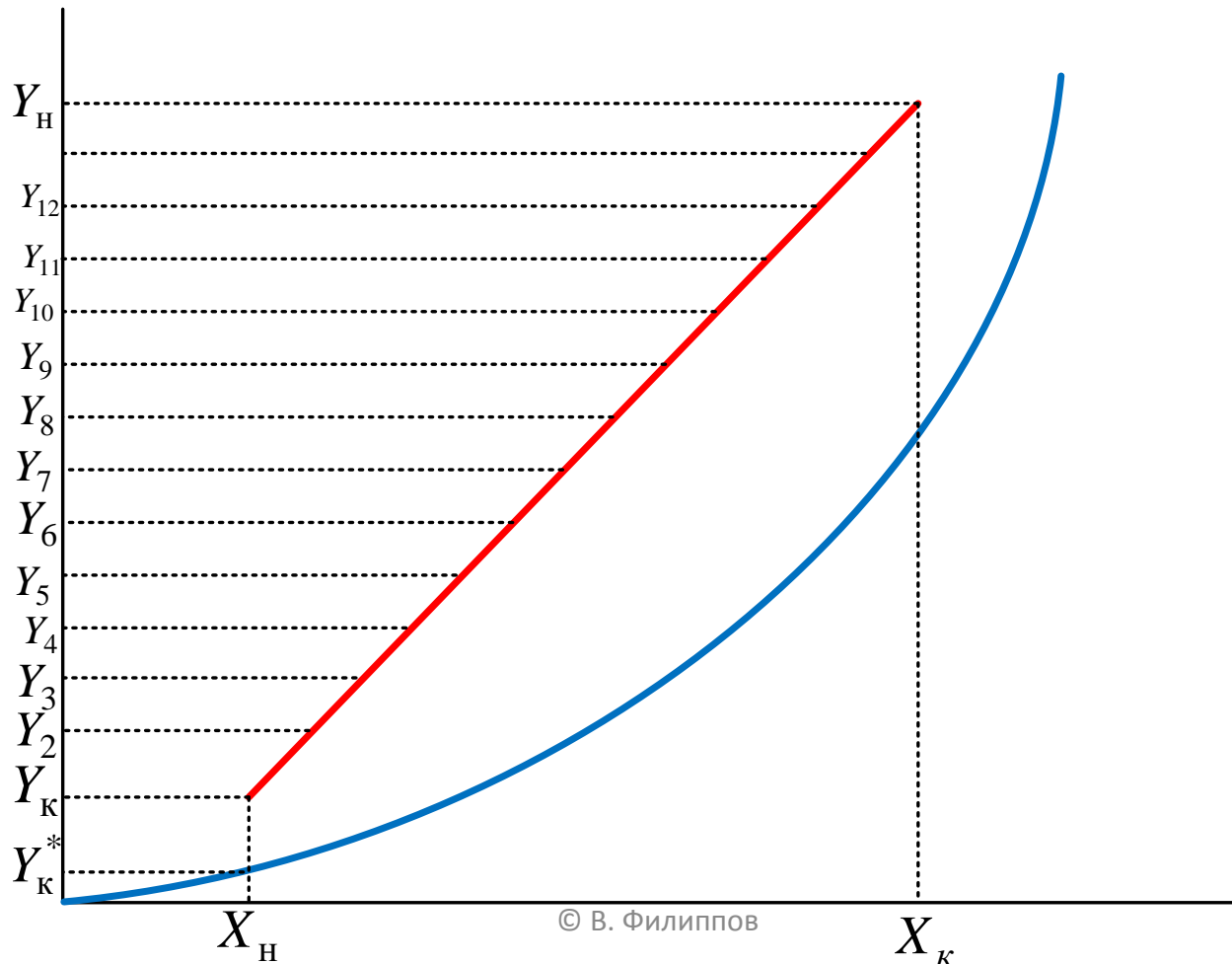
число единиц переноса по
жидкой фазе

Значения этих интегралов можно найти
графическим методом

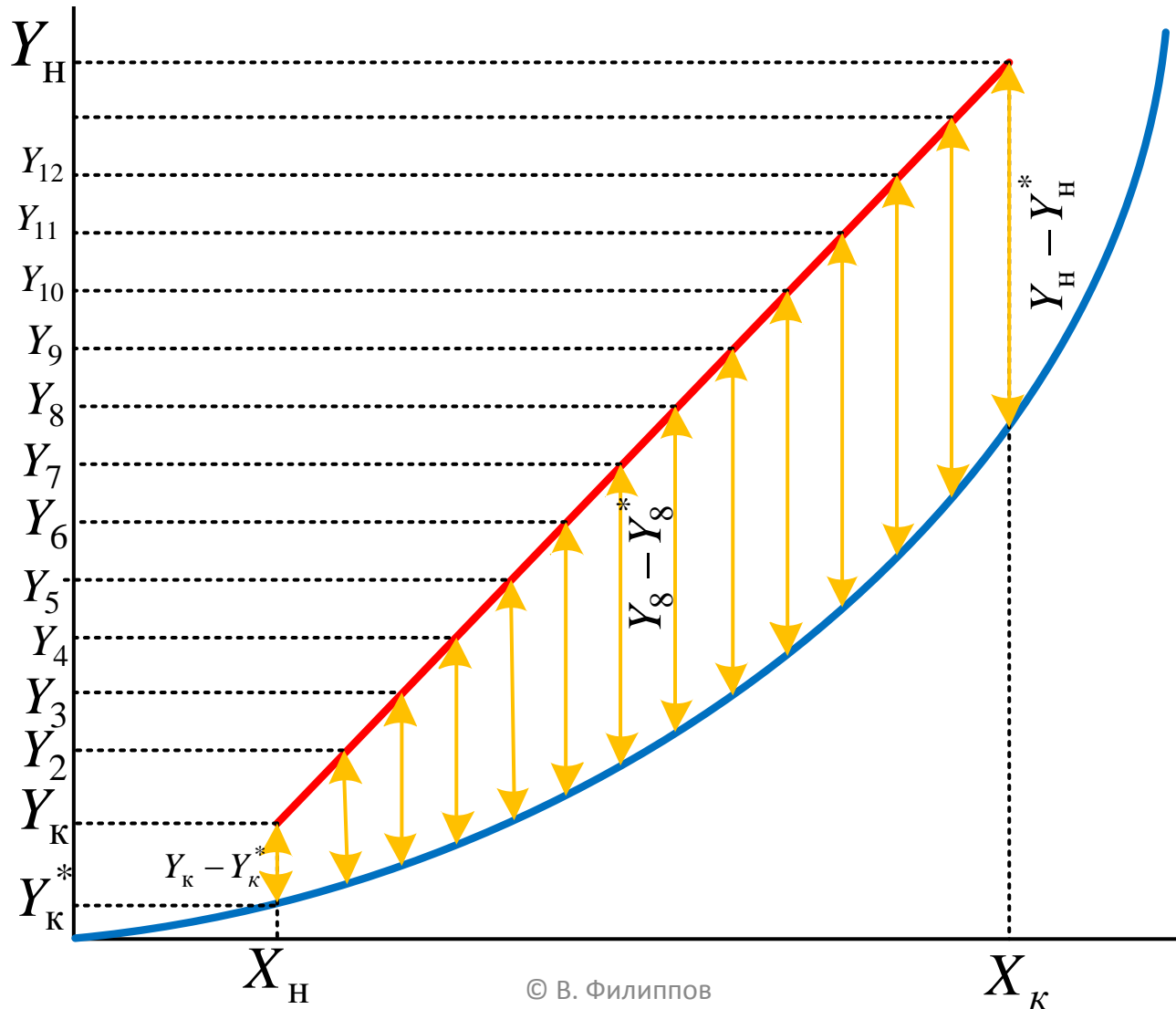
Метод графического расчёта числа единиц переноса

Алгоритм вычисления n_y (или n_x)

1. Разбиваем участок от Y_K до Y_H на возможно большее число отрезков.



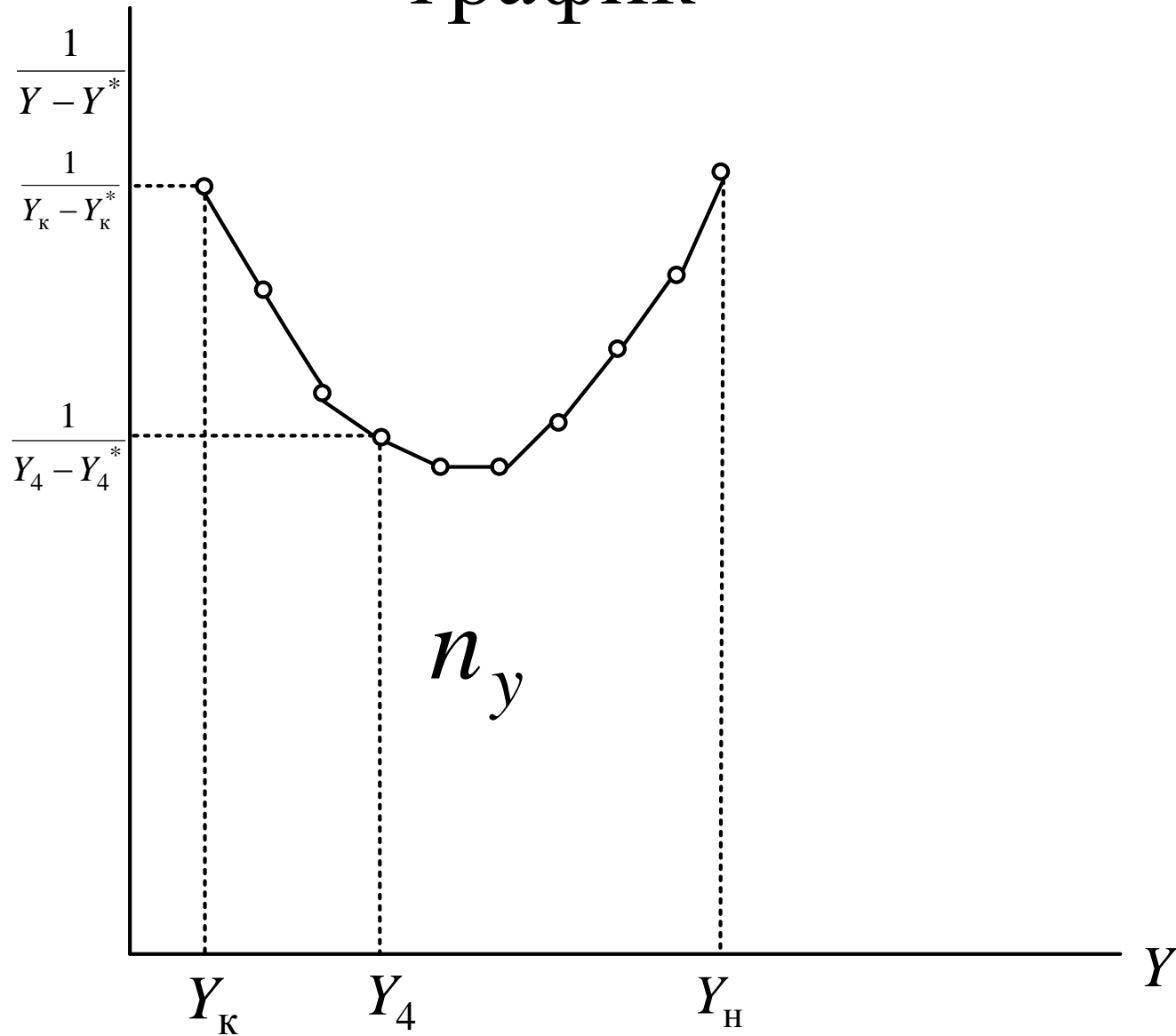
2. Вычисляем разности между рабочей и равновесной концентрациями



3. Начинаем заполнять таблицу

№	Значение рабочей концентрации	Разность между рабочей и равновесной концентрацией $Y_i - Y_i^*$	Значение дроби $\frac{1}{Y_i - Y_i^*}$
1	Y_K	$Y_K - Y_K^*$	$\frac{1}{Y_K - Y_K^*}$
2	Y_2	$Y_2 - Y_2^*$	$\frac{1}{Y_2 - Y_2^*}$
3	Y_3	$Y_3 - Y_3^*$	$\frac{1}{Y_3 - Y_3^*}$
14	Y_H	$Y_H - Y_H^*$	$\frac{1}{Y_H - Y_H^*}$

4. По данным таблицы строим график



Значение n_y равно площади подынтегральной кривой. Её можно найти, например, путём взвешивания, вырезав получившуюся фигуру и эталон.

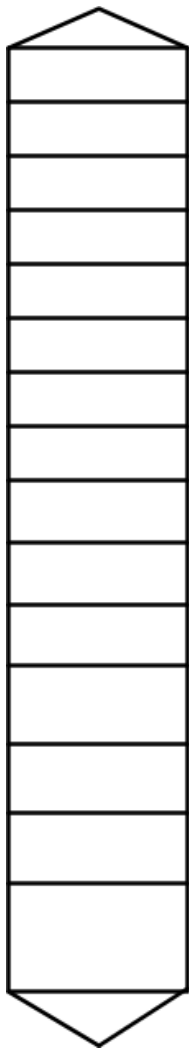
Мы рассмотрели первый способ выражения движущей силы процесса массопередачи – через среднюю разность концентраций по газовой и жидкой фазам

$$\Delta Y_{cp} \quad \Delta X_{cp}$$

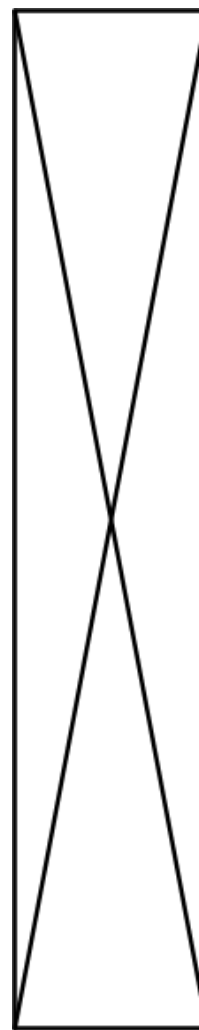
Но есть и другие способы. Выбор того или иного способа зависит от того, как будет организован контакт фаз в аппарате. А этот контакт можно организовать двумя способами: непрерывно и ступенчато.

Непрерывный контакт фаз происходит в **насадочных колоннах.**

Ступенчатый контакт фаз происходит в **тарельчатых колоннах.**



Тарельчатая колонна, работающая под избыточным давлением



Насадочная колонна, работающая под атмосферным давлением

Различные типы насадок



Наиболее часто применяются тарельчатые аппараты

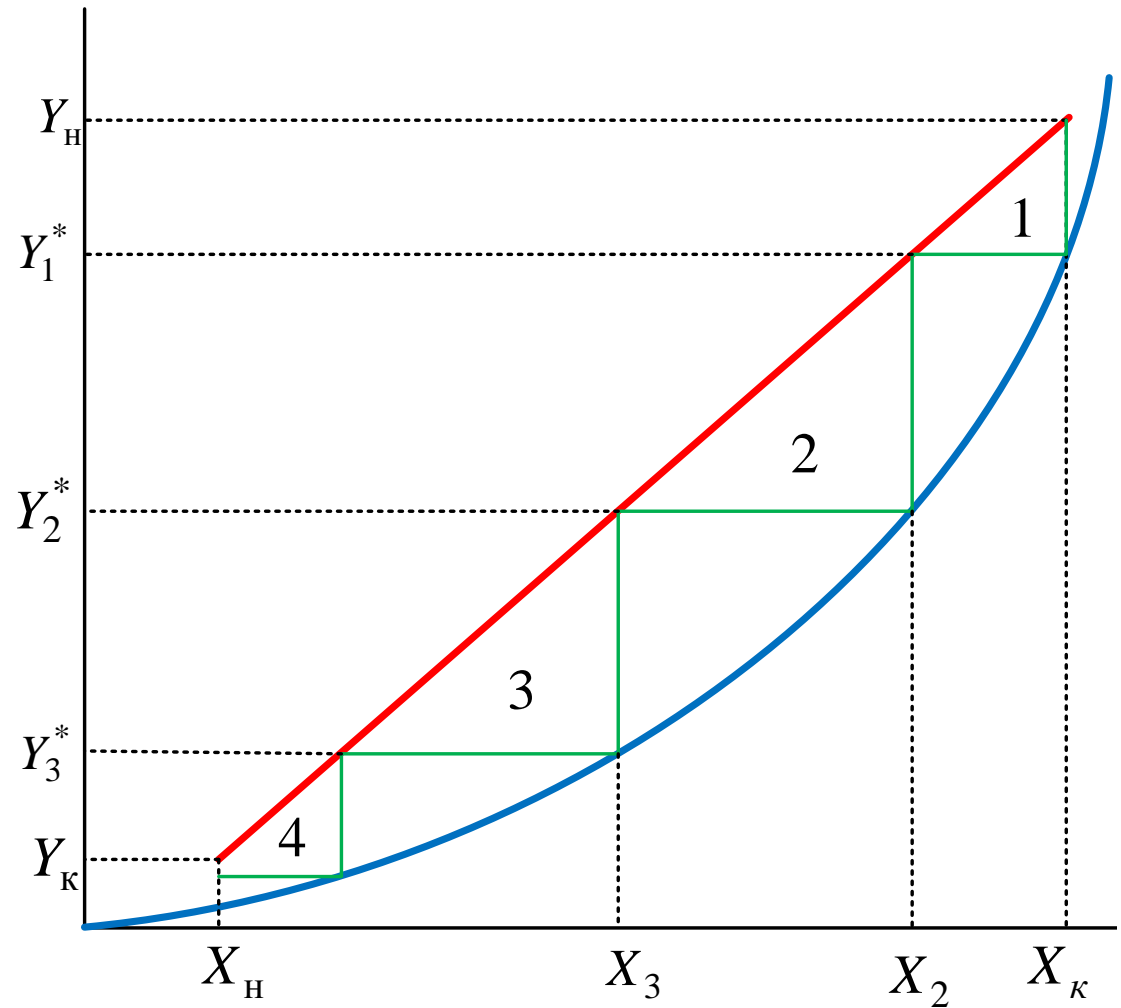
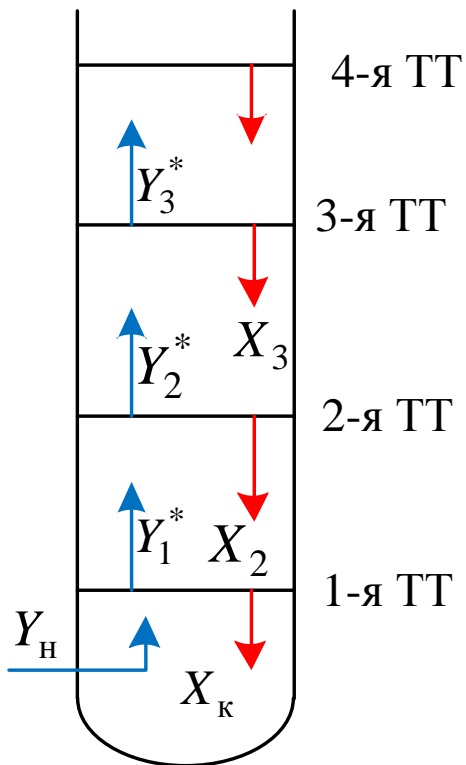
Для аппаратов со ступенчатым контактом фаз вводится понятие **теоретической тарелки**.

Теоретической тарелкой называется такое гипотетическое устройство, на котором между фазами достигается состояние равновесия.

Можно сказать иначе: теоретическая тарелка – это самое лучшее контактное устройство. Она так хорошо перемешивает фазы, что они приходят в состояние равновесия. Но мы знаем, что на практике равновесие никогда не достигается. Равновесие – это вечный покой. Поэтому теоретическая тарелка – это недостижимая мечта. Но использование этого параметра очень помогает для оценки величины движущей силы.

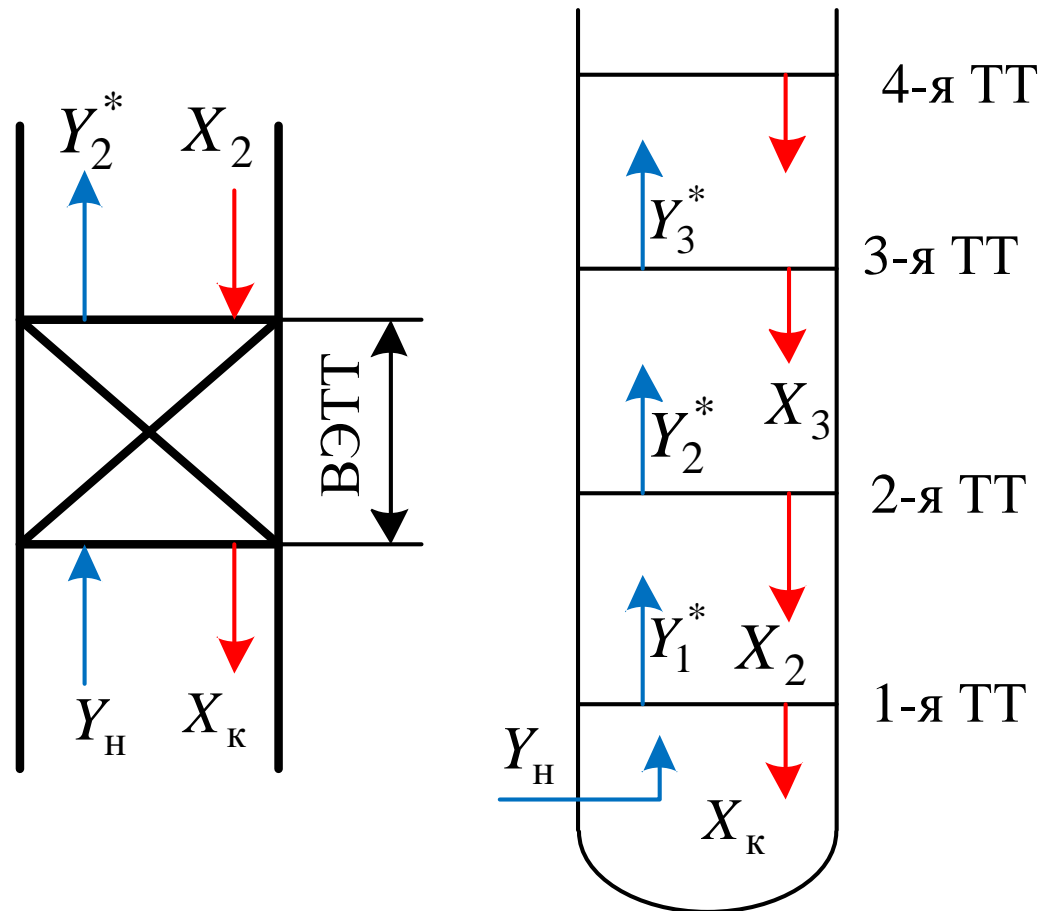
Рассмотрим определение ТТ на графике.

Графическое нахождение числа ТТ



Таким образом, число **теоретических тарелок**, которое необходимо для проведения процесса, находится путём вписывания ступеней между рабочей и равновесной линиями.

Для разделяющей способности насадочных колонн вводится понятие высоты слоя насадки, эквивалентной теоретической тарелке (ВЭТТ).



Таким образом, ВЭТТ – это высота слоя насадки, которая обладает таким же разделяющим действием, как теоретическая тарелка.

ВЭТТ очень удобно использовать для характеристики движущей силы, если предполагается использовать насадочную колонну.