

Абсорбция

Абсорбция – это процесс поглощения целевого компонента из газовой или парогазовой смеси специально подобранным жидким поглотителем - абсорбентом.

Цели абсорбции

1. Поглощение промежуточного вещества с целью получения конечного товарного продукта в крупнотоннажных производствах (HCl , HNO_3 , H_2SO_4 , NH_4OH).

2. Извлечение ценных компонентов из газовых смесей.

3. Очистка газов от вредных примесей, в том числе санитарная очистка.

Часто абсорбция сочетается с обратным процессом – десорбцией.

Десорбция проводится с целью извлечения в концентрированном виде целевого компонента и регенерации поглотителя (абсорбента).

Различают физическую абсорбцию и химическую (хемосорбцию).

В ходе процесса химической абсорбции целевой компонент вступает с абсорбентом в химическую реакцию с образованием нового соединения.

При физической абсорбции химического взаимодействия не происходит.

Равновесие при абсорбции

Цель вопроса – установить число переменных и их влияние на растворимость газа в жидкости.

Известно, что содержание какого-то газа в жидкости x зависит от давления P , температуры T и содержания этого компонента в газовой фазе y .

Применим правило фаз для нахождения числа переменных, которыми мы можем управлять.

Простейшая абсорбционная систем образована тремя компонентами: целевой компонент A , инертный носитель B и поглотитель: $k = 3$. Число фаз равно 2. Тогда

$$c = k - f + 2 = 3 - 2 + 2 = 3.$$

Следовательно, из четырёх переменных x , y , P и T три величины мы можем задать сами. Например, температуру, давление и концентрацию целевого компонента в газовой фазе y . От их значения будет зависеть концентрация этого компонента в жидкости x .

Эту зависимость выражает закон Генри:

При постоянной температуре растворимость газа в жидкости прямо пропорциональна его парциальному давлению в газовой фазе.

Другая формулировка: при постоянной температуре парциальное давление компонента в газовой фазе прямо пропорционально его мольной доле в жидкости.

Запись закона Генри (сформулировал Уильям Генри в 1803 году)

$$p^* = Ex$$

где p^* - парциальное давление целевого компонента (т.е. фактически его мольная или объёмная доля!), E – коэффициент Генри (как правило имеет размерность давления), справочная величина.

Так как

$$p^* = Py$$

то

$$y^* = \frac{E}{P} x = mx$$

Коэффициент Генри для растворимости в воде при 20°C:

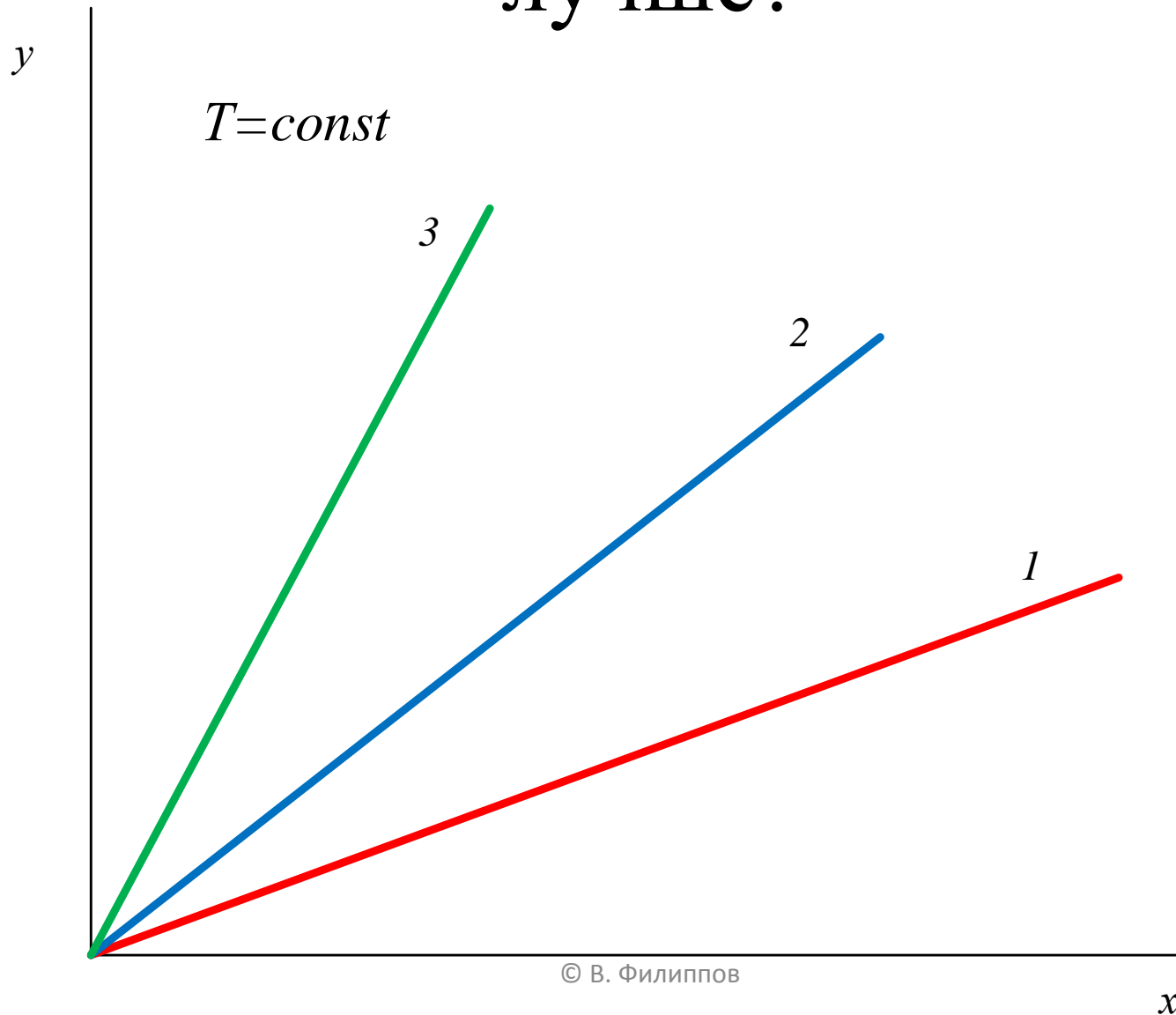
Азот – $61,1 \times 10^6$ мм рт. ст.;

Кислород – $30,4 \times 10^6$ мм рт. ст.;

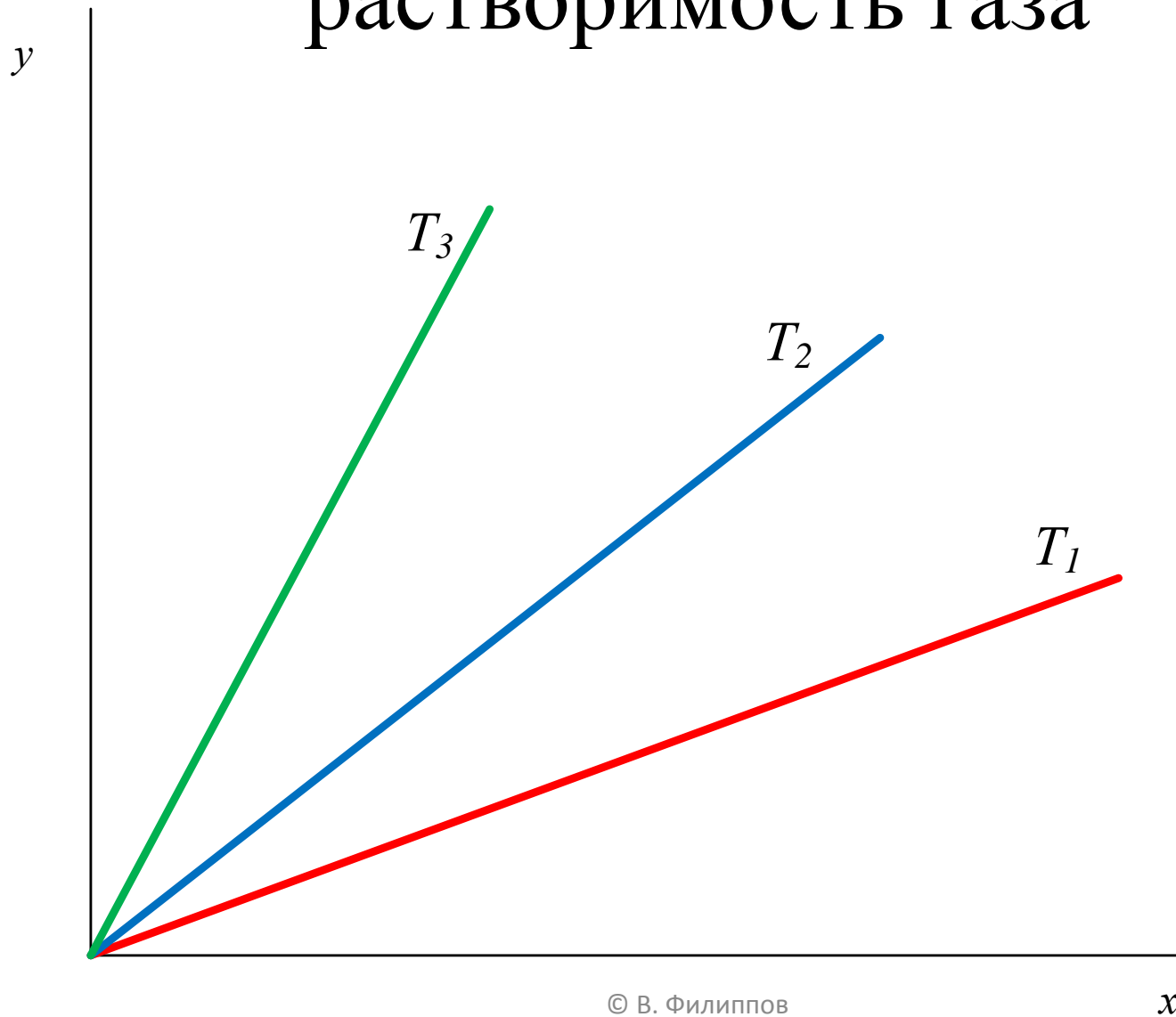
CO₂ – $1,24 \times 10^6$ мм рт. ст.;

H₂S – $0,367 \times 10^6$ мм рт. ст.

Какой из трёх газов растворим лучше?



Влияние температуры на растворимость газа



С ростом температуры растворимость газа в жидкости уменьшается.

Поэтому процесс абсорбции целесообразно проводить при пониженной температуре (если это оправдано экономически).

Обратный процесс – десорбцию – лучше проводить при повышенной температуре.

С ростом давления растворимость газа увеличивается.

Поэтому процесс абсорбции целесообразно проводить при повышенном давлении.

Обратный процесс – десорбцию – лучше проводить при пониженном давлении.

Например, абсорбцию сероводорода раствором моноэтаноламина (МЭА) проводят при температуре в колонне 25—40 °С и давлении 1,47—1,57 МПа (примерно 15-16 кгс/см²).

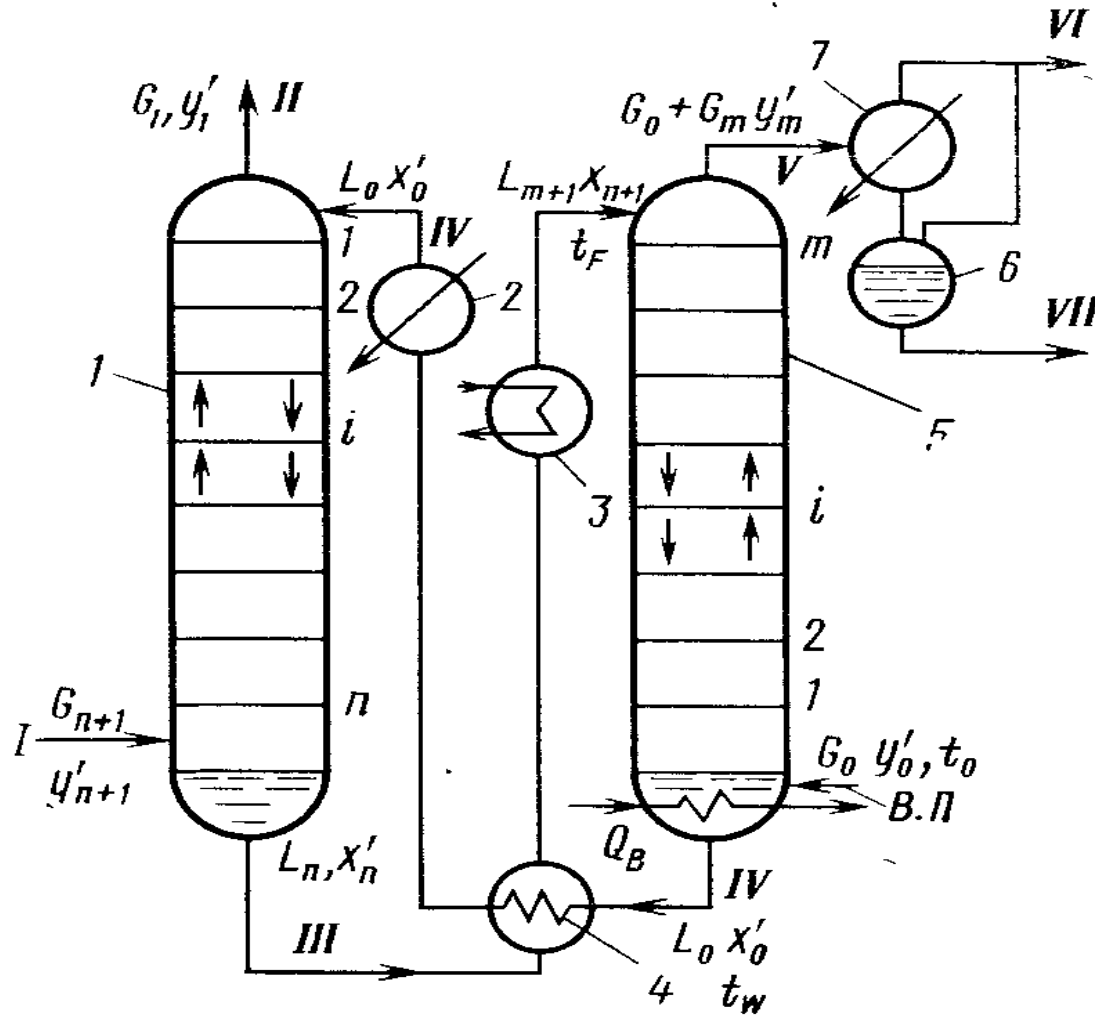
А десорбцию - при температуре 90 °С и давлении 0,15—0,20 МПа.

С целью экономии теплоты нагрев целесообразно проводить отрегенированным МЭА, который выводится из десорбера.

Тепловой эффект растворения

При абсорбции происходит переход вещества из газовой фазы в жидкую. Этот процесс сопровождается уменьшением энергии системы, что сопровождается выделением теплоты. Т.е. процесс абсорбции как правило экзотермический. При этом температура абсорбента повышается. А с ростом T растворимость газа падает! Это плохо.

Принципиальная схема абсорбционно-десорбционной установки (**знать!**)



Обозначения аппаратов:

1 – абсорбер;

2 – холодильник регенерированного абсорбента;

3 – подогреватель отработанного абсорбента;

4 –рекуперативный подогреватель отработанного абсорбента;

5 – десорбер;

6 – ёмкость;

7 – конденсатор;

Обозначения потоков:

I – газ на разделение;

II – очищенный газ (сухой или тощий газа);

III – отработанный (насыщенный) абсорбент;

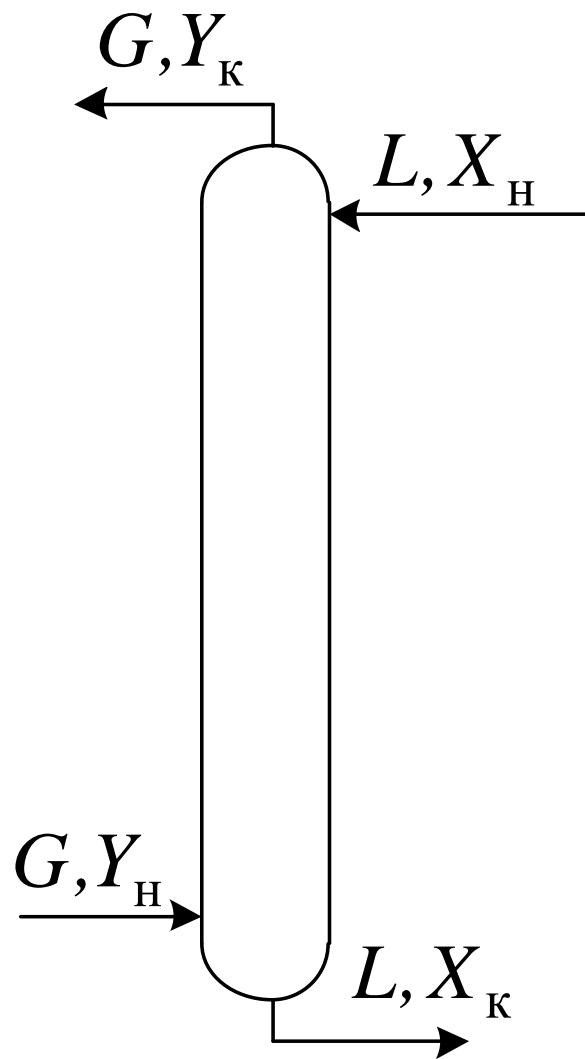
IV – регенерированный абсорбент;

V – целевые (извлечённые) компоненты;

VI – несконденсированные компоненты;

VII – жидкий (сконденсированный, целевой) продукт.

Материальный баланс



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

Удельный расход абсорбента и его влияние на размеры проектируемой установки

Для расчёта процесса абсорбции обычно заданы следующие параметры:

1. расход газа G ;
2. начальная концентрация целевого компонента Y_H ;
3. конечная концентрация целевого компонента Y_K ;
4. начальная концентрация целевого компонента в свежем абсорбенте X_H (возможно, что $X_H=0$).

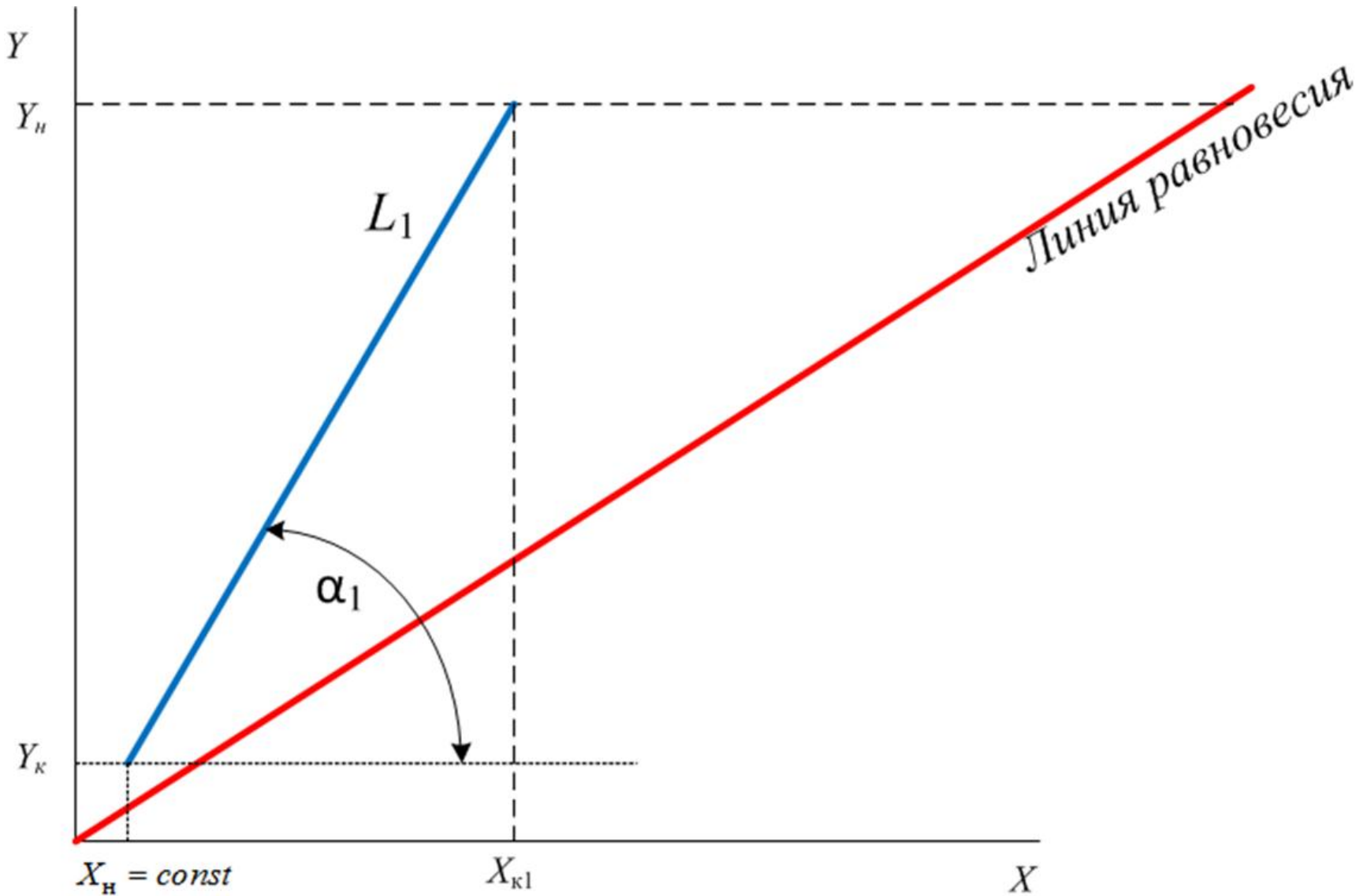
А вот расход абсорбента L и концентрация целевого компонента на выходе из аппарата X_k не известны.

Но самое главное, что эти две величины связаны между собой: увеличиваем расход абсорбента L — уменьшается содержание в нём поглощённого компонента X_k . В этом легко убедиться, преобразовав уравнение материального баланса. Введём новую величину — удельный расход абсорбента l .

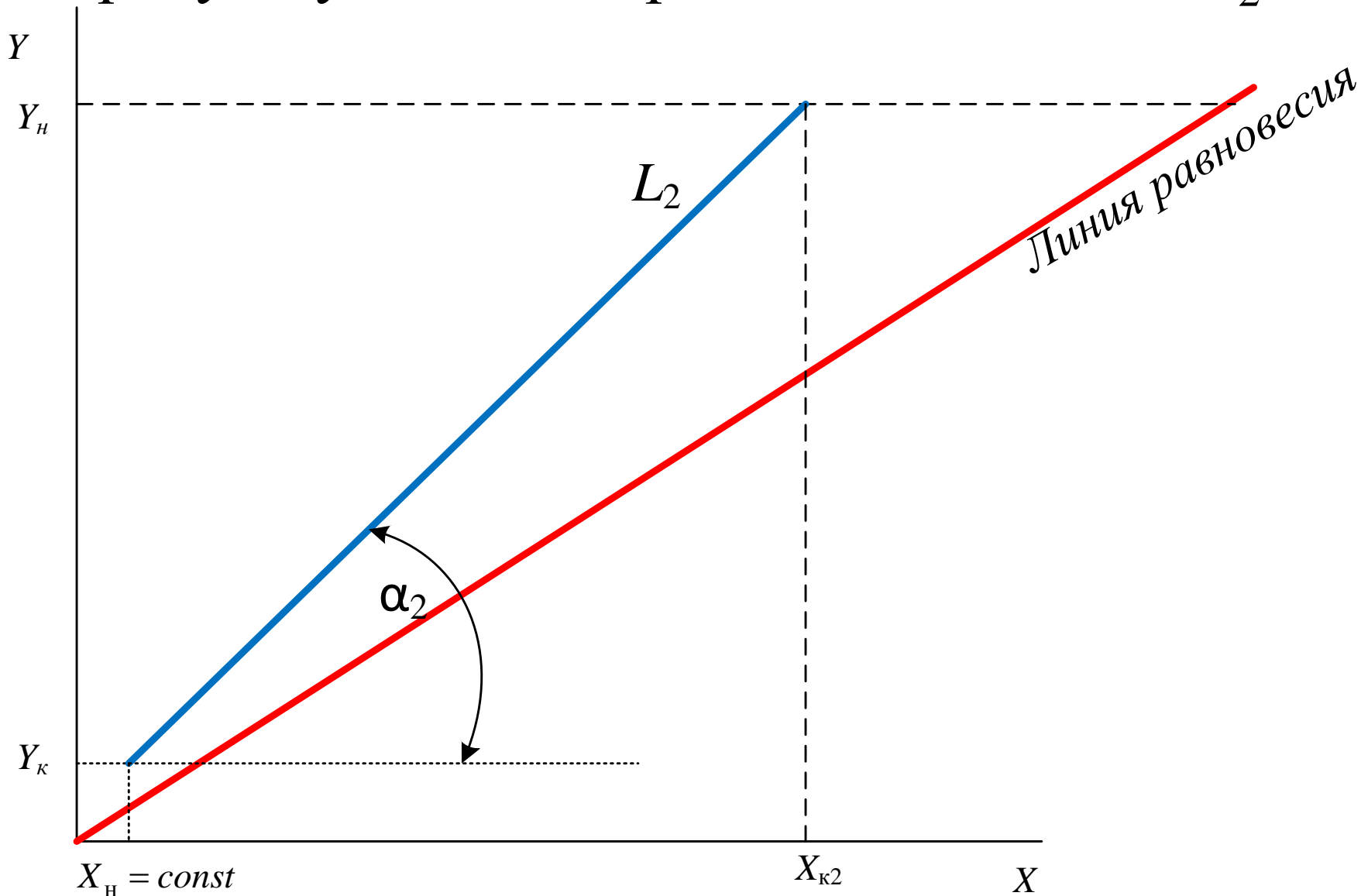
$$l \equiv \frac{L}{G} = \frac{Y_{\text{H}} - Y_{\text{K}}}{X_{\text{K}} - X_{\text{H}}} = \operatorname{tg} \alpha$$

Теперь посмотрим график

Примем какой-то первый расход абсорбента L_1 :

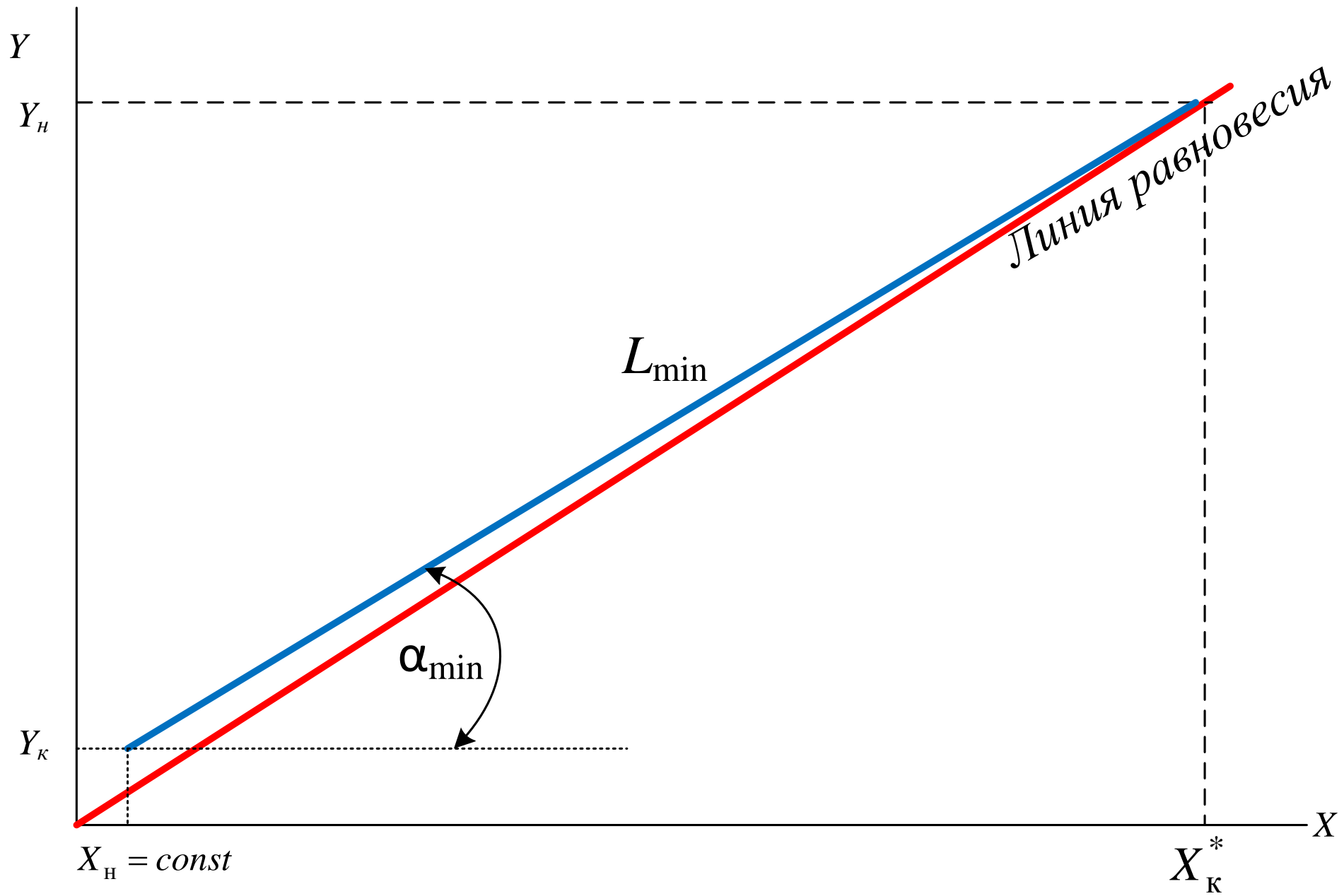


Попробуем уменьшить расход до значения L_2 :



А есть ли предел уменьшения расхода абсорбента L ?

Да, есть. Когда рабочая линия пересечётся с линией равновесия. В этом случае движущая сила процесса массопередачи станет равна 0. Процесс прекратится.



В этом случае выполняется условие

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

И вычислить этот минимальный расход абсорбента труда не представляет. Надо знать всего четыре концентрации: Y_H , Y_K , X_K^* и X_H .

Для вычисления рабочего расхода жидкого поглотителя вводится коэффициент избытка абсорбента φ

$$l = \varphi l_{min}$$

или

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

Понятно, что

$$\varphi > 1$$

А вот выбор этого коэффициента избытка абсорбента φ – довольно сложная технико-экономическая задача.

Дело в том, что коэффициент избытка абсорбента влияет на множество параметров абсорбционной установки.

Все затраты можно разделить на капитальные и эксплуатационные.

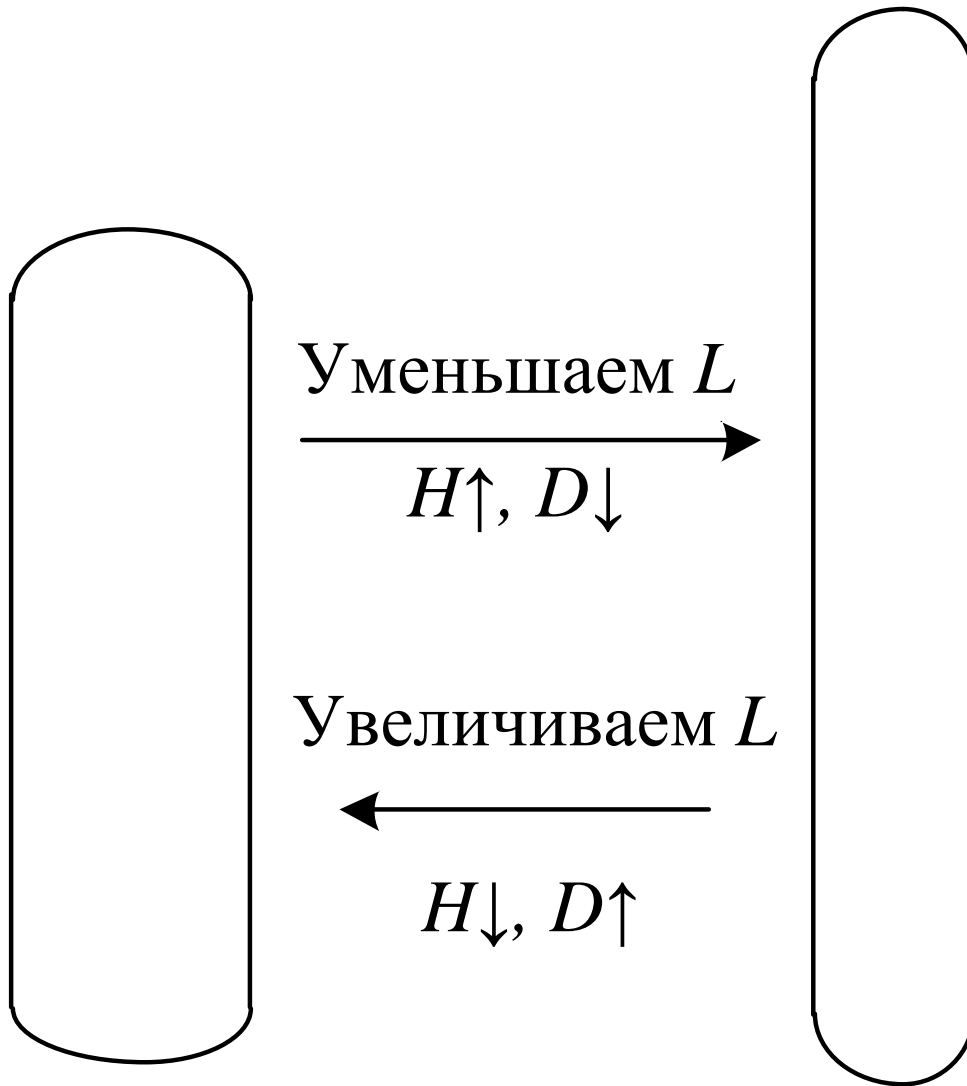
На капитальные затраты влияют в первую очередь размеры колонны, теплообменного оборудования, насосов.

К эксплуатационным затратам в первую очередь относятся расходы на электроэнергию и теплоноситель (НВП).

Можно утверждать, что если на стадии проектирования уменьшить расход абсорбента L , то:

- увеличивается высота колонны за счёт уменьшения движущей силы;
- немного уменьшается диаметр колонны за счёт уменьшения гидравлического сопротивления;
- потребуется насос меньшей производительности для подачи абсорбента;
- уменьшится F теплообменников.

Несколько условно это можно показать так



Величина L также влияет на эксплуатационные затраты.

При уменьшении L уменьшаются затраты на десорбцию: расход греющего пара, охлаждающей воды, электроэнергии на перекачивание.

**Выбор оптимально расхода абсорбента
решается путём технико-экономических
расчётов.**

Неизотермическая абсорбция

При абсорбции происходит выделение теплоты. Выделяющаяся теплота нагревает абсорбент. А с ростом температуры растворимость газа уменьшается. Поэтому выделение теплоты считается негативным фактором.

На стадии проектирования необходимо ответить на следующие вопросы:

1. Сколько будет выделяться теплоты?
2. На сколько повысится температура абсорбента?

На первый вопрос ответ даёт уравнение теплового баланса

$$Q = qM = qL(X_{\text{к}} - X_{\text{н}}) = qG(Y_{\text{н}} - Y_{\text{к}})$$

q – удельная теплота растворения целевого компонента в жидкости, Дж/кг или Дж/кмоль.

Принято считать, что вся теплота затрачивается на нагрев жидкости (нагревом газа пренебрегают)

$$Q = Lc(t_{\text{к}} - t_{\text{н}}) = Lc\Delta t$$

c – удельная теплоёмкость жидкости.

Тогда

$$\Delta t = \frac{Q}{cL}$$

Если окажется, что если

$$\Delta t \leq 10^0 \text{ C},$$

то такое повышение температуры не в проекте не учитывается.

А вот если

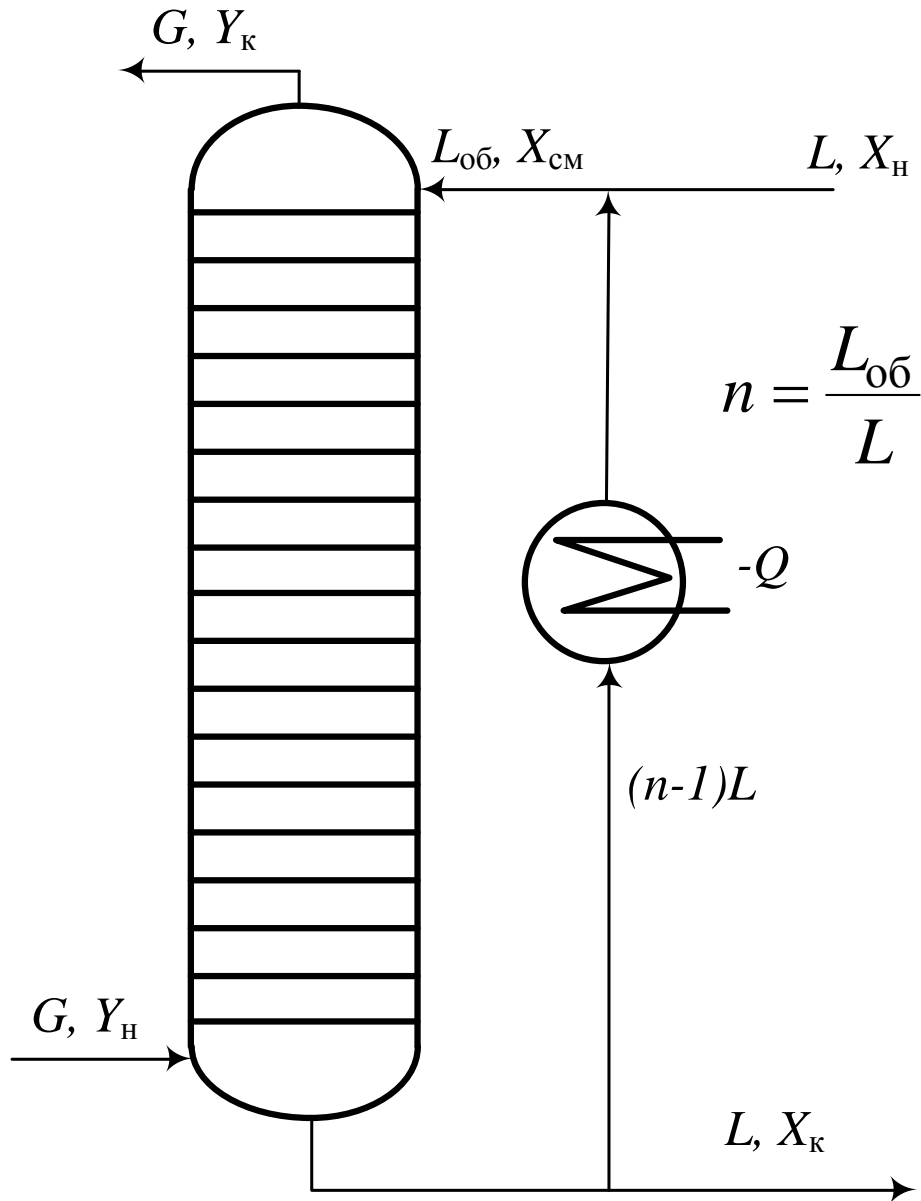
$$\Delta t > 10^0 \text{ C},$$

то необходимо организовывать съём теплоты.

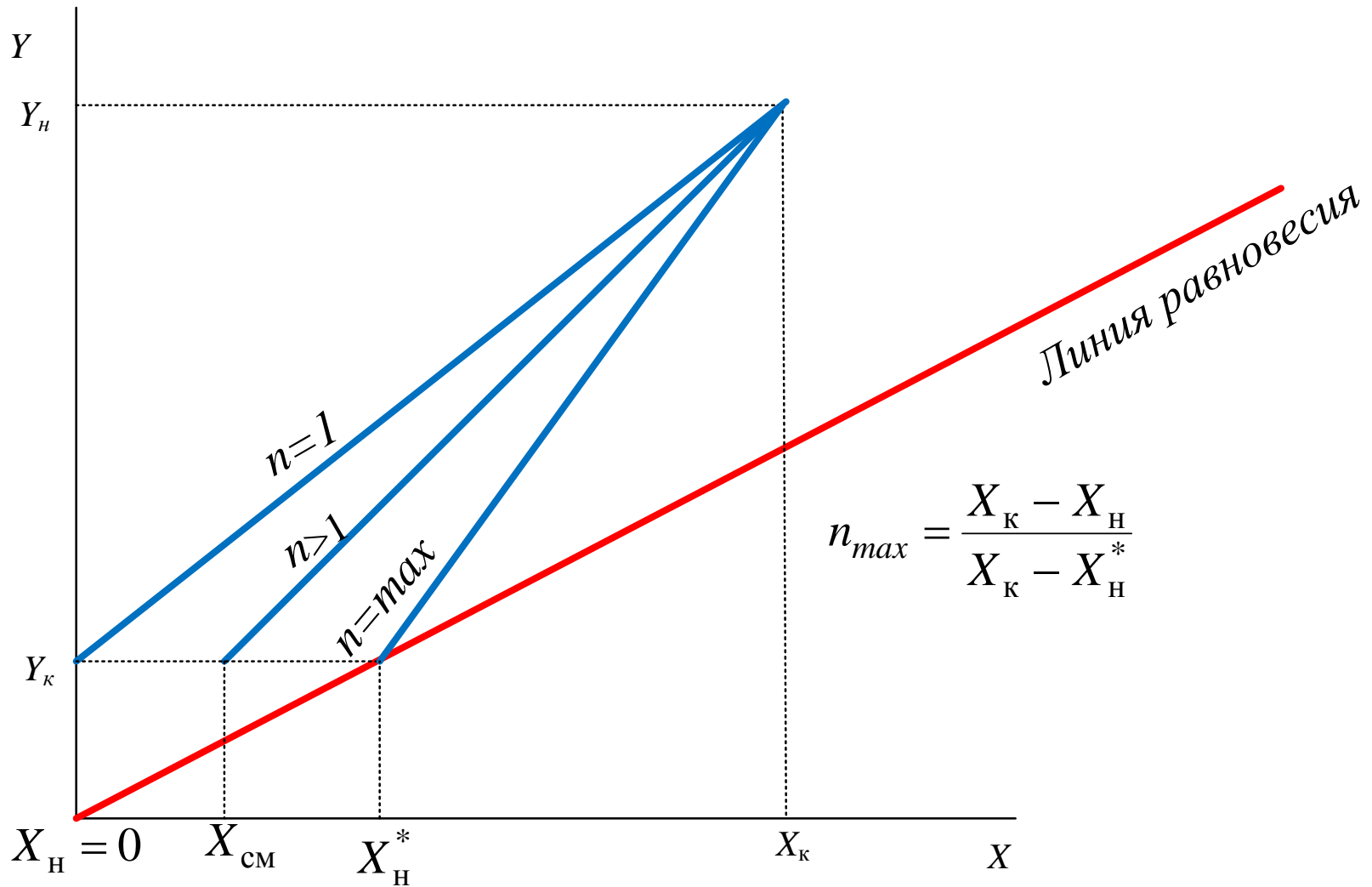
Для охлаждения абсорбента предложено несколько способов:

1. рециркуляция части абсорбента через холодильник (внешний или встроенный);
2. вывод потока абсорбента из колонны и прокачка его через выносные холодильники.

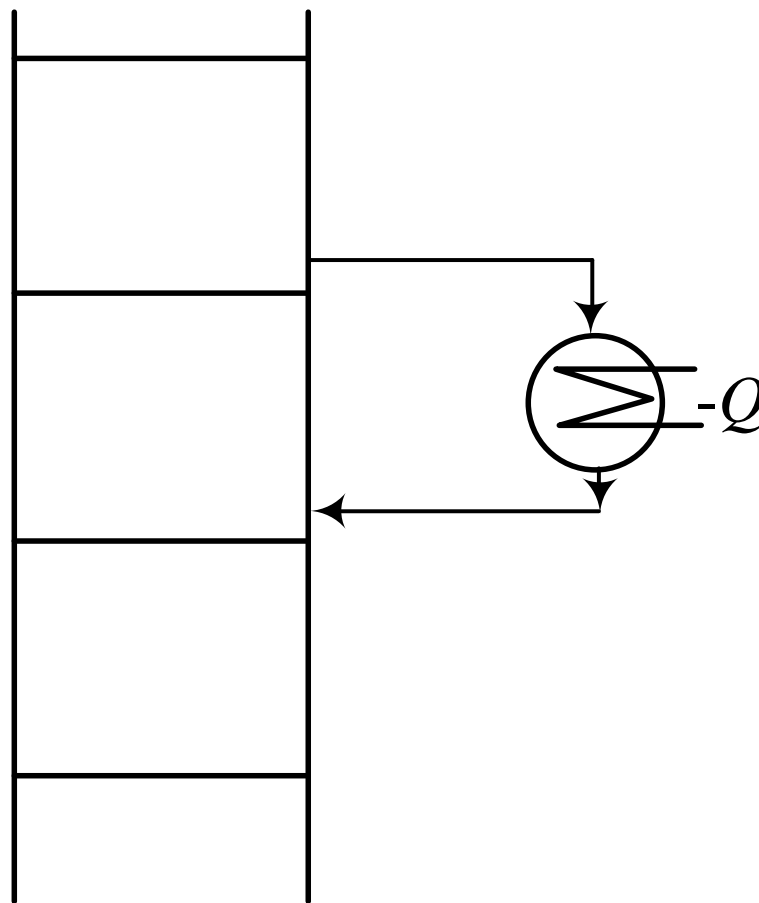
Рециркуляция. Кратность циркуляции n .



Положение рабочей линии смещается.



Охлаждение абсорбента в выносном холодильнике



Устройство абсорбционных колонн

Устройство абсорберов практически не отличается от устройства ректификационных колонн. Поэтому этот вопрос будет рассмотрен при изучении ректификации.