

# ***Перегонка и ректификация***

- 1 Перегонка и ректификация**
- 2 Материальный и тепловой баланс процесса ректификации**
- 3 Построение рабочей линии ректификационной колонны**
- 4 Схемы ректификационных установок**

# 1 Перегонка и ректификация

- Для разделения смеси жидкостей обычно прибегают к перегонке.
- Разделение путем перегонки основано на различной температуре кипения отдельных веществ, входящих в состав смеси.
- Так, если смесь состоит из двух компонентов, то при испарении компонент с более низкой температурой кипения (*низкокипящий компонент*, сокращенно НК) переходит в пары, а компонент с более высокой температурой кипения (*высококипящий компонент*, сокращенно ВК) остается в жидком состоянии.

## Перегонка и ректификация

- Полученные пары конденсируются, образуя так называемый *дистиллят*.
- Неиспаренная жидкость называется *остатком*.
- Таким образом, в результате перегонки НК переходит в дистиллят, а ВК — в остаток.
- Описанный процесс, называемый *простой перегонной*, не дает, однако, возможности произвести полное разделение компонентов смеси и получить их в чистом виде.
- Оба компонента являются летучими и потому оба переходят в пары, хотя и в различной степени.

## Перегонка и ректификация

- Для достижения наиболее полного разделения компонентов применяют более сложный вид перегонки — *ректификацию*.
- Ректификация заключается в противоточном взаимодействии паров, образующихся при перегонке, с жидкостью, получающейся при конденсации паров.
- *Представим себе аппарат, в котором снизу вверх движутся пары, а сверху (навстречу парам) подается жидкость, представляющая собой почти чистый НК.*
- *При соприкосновении поднимающихся паров со стекающей жидкостью происходит частичная конденсация паров и частичное испарение жидкости*

## Перегонка и ректификация

- При этом из паров конденсируется преимущественно ВК, а из жидкости испаряется преимущественно НК.
- Таким образом, стекающая жидкость обогащается ВК, а поднимающиеся пары обогащаются НК, в результате чего выходящие из аппарата пары представляют собой почти чистый НК
- Эти пары поступают в конденсатор (дефлегматор), где и конденсируются НК.
- Часть конденсата, возвращаемая на орошение аппарата, называется флегмой, другая часть — отводится в качестве дистиллята.

## **2 Материальный и тепловой баланс процесса ректификации**

- **При ректификации исходная жидкая смесь делится на две части:
  - часть, обогащенную НК (дистиллят), и
  - часть, обедненную НК (остаток).**
- **Непрерывная ректификация проводится в аппаратах (ректификационных колоннах), состоящих из двух ступеней.**
- **Исходная смесь вводится в верхнюю часть нижней ступени (исчерпывающая колонна 2).**

# **Материальный и тепловой баланс процесса ректификации**

- **Здесь исходная жидкая смесь взаимодействует в противотоке с паром, начальный состав которого аналогичен составу остатка;**
- **в результате происходит исчерпывание смеси, т. е. извлечение из нее НК и обогащение ВК.**
- **В верхней ступени (укрепляющая колонна 1) пар, поступающий из нижней ступени, взаимодействует в противотоке с жидкостью, начальный состав которой аналогичен составу дистиллята;**
- **в результате происходит укрепление пара, т. е. обогащение его НК.**

# Материальный и тепловой баланс процесса ректификации

- Пар для питания ректификационного аппарата образуется в кубе 3 путем испарения части жидкости поступающей в куб
- жидкость для орошения аппарата (флегма) получается в дефлегматоре 4 путем конденсации части пара, имеющего состав, аналогичный составу дистиллята
- Тепло, необходимое для испарения смеси, сообщается ей в кубе.
- В дефлегматоре производится отвод тепла, вследствие чего поступающие в него пары полностью или частично конденсируются.
- Дистиллят отводится из дефлегматора в жидком или парообразном состоянии. Остаток отводится из куба в виде жидкости.

# Материальный и тепловой баланс процесса ректификации

- **Материальный баланс**
- **Обозначим:**
- **$F$  - количество поступающей на ректификацию смеси (в кмоль/с),**
- **$P$  - количество получаемого дистиллята (в кмоль/с),**
- **$W$  - количество остатка (в кмоль/с)**
- **$x_F$  - состав смеси**
- **$x_p$  - состав дистиллята**
- **$x_w$  - состав остатка (в мол. долях НК).**

# Материальный и тепловой баланс процесса ректификации

- Тогда уравнение материального баланса для всего количества смеси примет вид

$$F = P + W \quad (1)$$

- уравнение материального баланса для НК

$$Fx_F = Px_p + Wx_W \quad (2)$$

- При помощи уравнений ( 1 ) и (2) решаются все задачи, связанные с определением количеств или составов веществ, участвующих в процессе ректификации

# Материальный и тепловой баланс процесса ректификации

- Обычно заданы количество смеси  $F$  и составы  $x_F$ ,  $x_P$  и  $x_W$ .
- Количества дистиллята  $P$  и остатка  $W$  определяются совместным решением уравнений (1) и (2).
- Уравнения (1) и (2) применимы и при выражении величин  $F$ ,  $P$  и  $W$  в весовых количествах (в кг/сек).
- При этом составы смеси, дистиллята и остатка должны подставляться в уравнения в весовых долях ( $\alpha_F$ ,  $\alpha_P$ ,  $\alpha_W$ ).

# Материальный и тепловой баланс процесса ректификации

- Для дальнейшего изучения процесса ректификации сделаем следующие допущения:
  - Молярные теплоты испарения обоих компонентов одинаковы;
  - поэтому каждый *комоль* сконденсировавшегося пара испаряет *1 кмоль* жидкости,
    - количества поднимающегося пара и стекающей жидкости по высоте колонны не изменяются,
    - изменяется лишь их состав.

Поэтому сделанное допущение не приводит к значительной ошибке, если расчет процесса ректификации вести не в весовых, а в молярных величинах.

# Материальный и тепловой баланс процесса ректификации

- Исходная жидкая смесь подается в колонну подогретой до температуры кипения;
- Следовательно, в колонне не расходуется тепло на нагревание смеси.
- В этих условиях количество стекающей жидкости в нижней части колонны (ниже ввода исходной смеси) увеличивается на количество введенной смеси.
- При конденсации пара в дефлегматоре не происходит изменения его состава; следовательно, состав пара аналогичен составу дистиллята  $X_p$ .

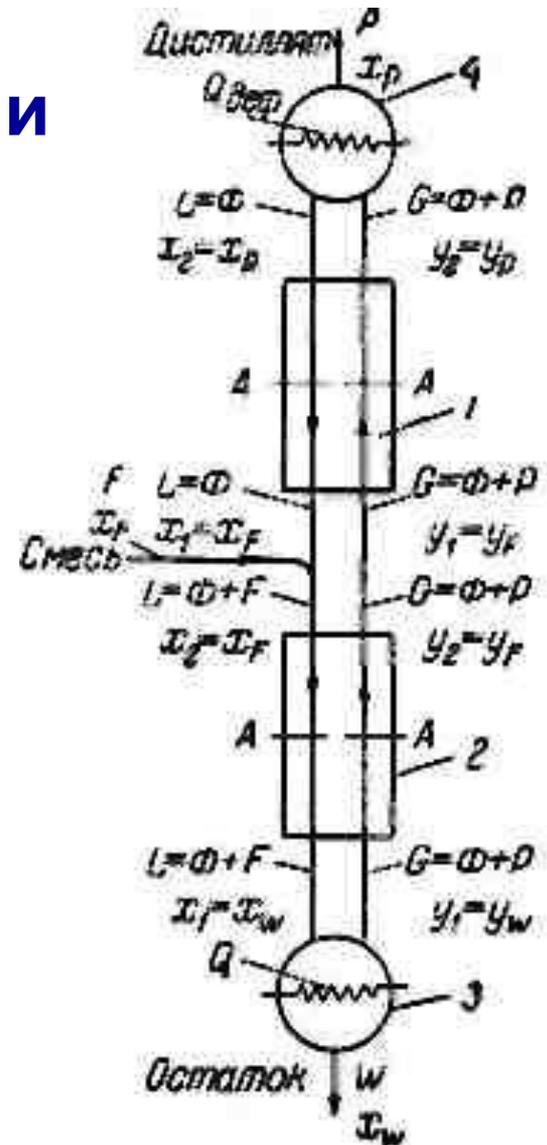
# Материальный и тепловой баланс процесса ректификации

- При испарении жидкости в кубе не происходит изменения ее состава;
- Следовательно, состав образовавшегося пара аналогичен составу остатка  $x_w$ .
- *Обозначим через:*
- *$G$  и  $L$  количества паровой и жидкой фаз (в кмоль/сек),*
- *$y_1$  и  $y_2$  - молярные доли НК в парах на входе в колонну и на выходе из нее,*
- *через  $x_2$  и  $x_1$  — молярные доли НК в жидкости на входе в колонну и на выходе из нее.*

# Материальный и тепловой баланс процесса ректификации

Схема материального баланса ректификационной колонны:

- 1 — укрепляющая колонна;
- 2 — исчерпывающая колонна;
- 3 — куб;
- 4 — дефлегматор



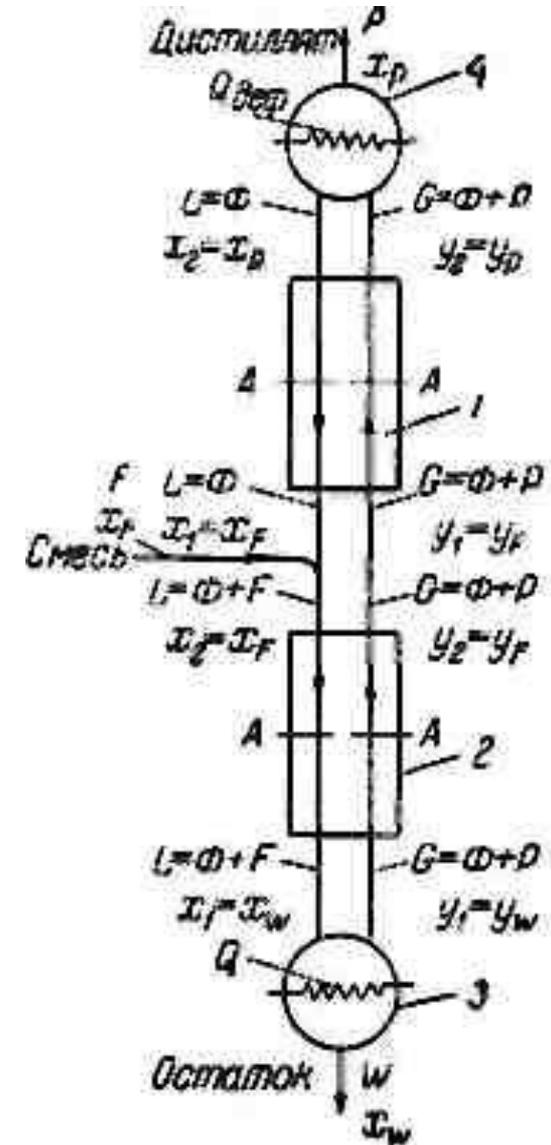
# Материальный и тепловой баланс процесса ректификации

- Рассмотрим произвольное сечение А - А в нижней или верхней части аппарата
- В этом сечении состав пара  $y$ , а состав жидкости  $x$ .
- Составим уравнение материального баланса по НК для части аппарата, расположенной выше рассматриваемого сечения:

$$Gy + Lx_2 = Gy_2 + Lx$$

откуда

$$y = y_2 - \frac{L}{G}(x_2 - x) \quad (3)$$



# Материальный и тепловой баланс процесса ректификации

- Аналогично, составляя материальный баланс по НК для части аппарата, расположенной ниже сечения А - А, имеем:

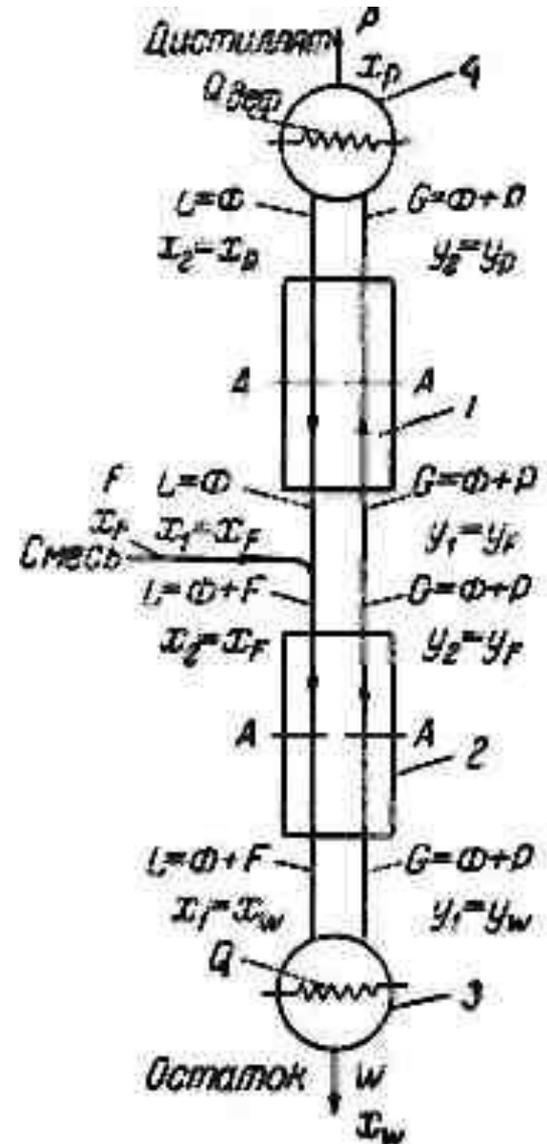
А - А, имеем:

$$Gy_1 + Lx = Gy + Lx_1$$

откуда

$$y = y_1 + \frac{L}{G}(x - x_1) \quad (4)$$

Уравнения (3) и (4) являются уравнениями рабочей линии процесса ректификации.



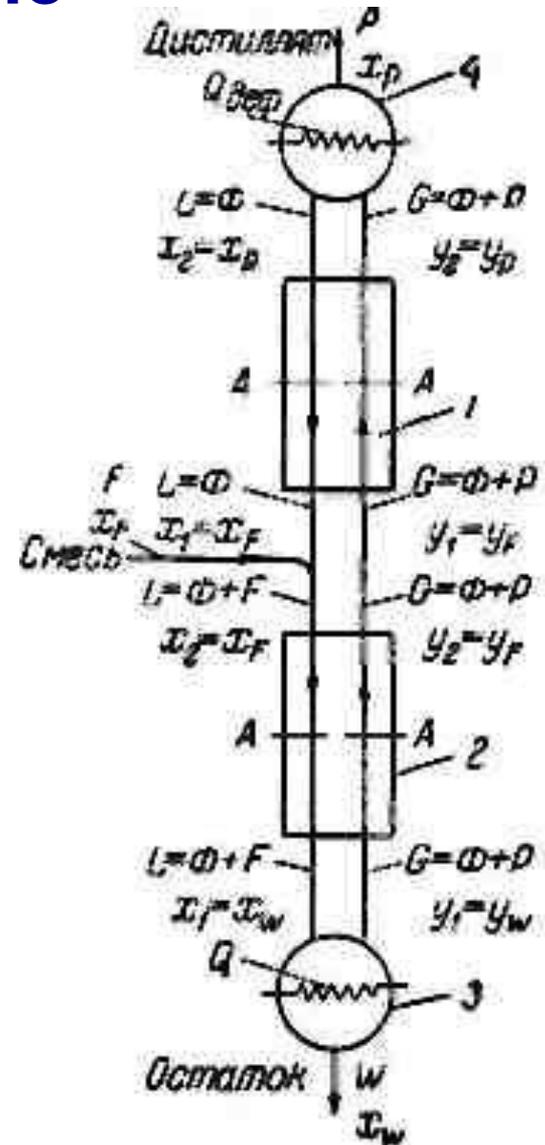
# Материальный и тепловой баланс процесса ректификации

- Количество поднимающегося пара  $G$  постоянно во всей колонне.
- Это количество пара образуется в кубе и поступает в дефлегматор, откуда часть  $\Phi$  возвращается в колонну в виде флегмы, а остальная часть  $P$  отводится в виде дистиллята.
- Таким образом

$$G = \Phi + P$$

- отношение количества флегмы к количеству дистиллята называется **флегмовым числом**

$$R = \frac{\Phi}{P} \quad (5)$$



# Материальный и тепловой баланс процесса ректификации

- Следовательно, количество флегмы  $\Phi = PR$  и количество поднимающегося пара составляет:

$$G = PR + P = P(R + 1) \quad (6)$$

- т. е. на каждый кмоль дистиллята в кубе должно быть испарено  $(R+1)$  кмоль остатка.
- В укрепляющей колонне количество стекающей жидкости равно количеству флегмы:

$$L = \Phi = PR$$

# Материальный и тепловой баланс процесса ректификации

- а состав пара на выходе из колонны равен составу подаваемой на орошение флегмы:
- $Y_2 = x_2 = x_p$
- Подставляя значения  $L$ ,  $G$ ,  $Y_2$  и  $x_2$  в уравнение (3), получим:

$$y = x_p - \frac{L}{G}(x_2 - x)$$

$$y = \frac{R}{R+1}x + \frac{x_p}{R+1} \quad (7)$$

## Материальный и тепловой баланс процесса ректификации

- Подставляя в уравнение (7)  $X = c$ , получим  $Y = X_p$ ,
- т. е. на  $Y - X$  диаграмме ( см. рис.) рабочая линия укрепляющей колонны проходит через лежащую на диагонали точку  $C'$  с абсциссой  $X_p$ .
- Из уравнения (7) видно, что тангенс угла наклона рабочей линии  $\text{tga} = R/R+1$ , а отрезок, отсекаемый на оси ординат, составляет  $b = x_p / R+1$ .
- В исчерпывающей колонне количество стекающей жидкости  $L$  больше количества флегмы  $\Phi$  на количество исходной жидкой смеси  $F$ .

# Материальный и тепловой баланс процесса ректификации

- Обозначая  $F/P=f$ , найдем для исчерпывающей колонны:  
$$L = \Phi + F = P(R + f)$$

- Составы поступающего в колонну пара и вытекающей из нее жидкости равны составу остатка:

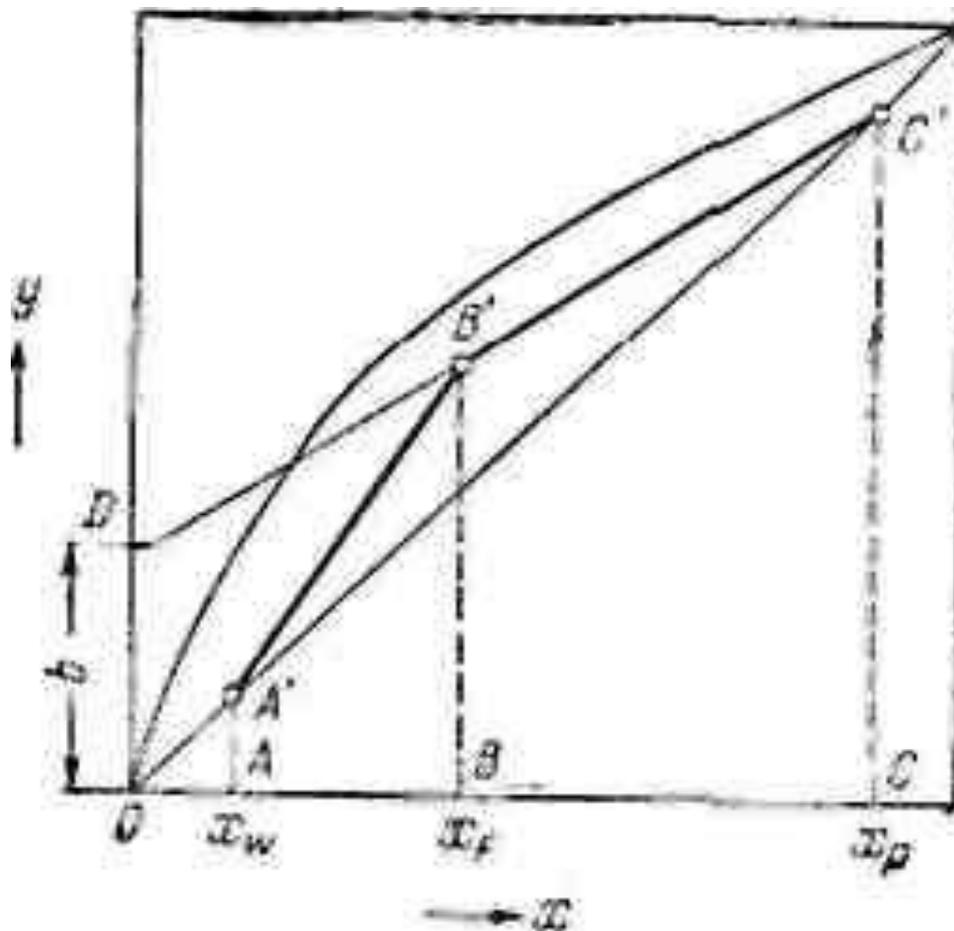
$$y_1 = x_1 = x_W$$

- Подставляя значения  $L, G, y_1$  и  $x_1$  в уравнение (4), получим:

$$y = x_W - \frac{R+f}{R+1}(x - x_W)$$

$$y = \frac{R+f}{R+1}x + \frac{f-1}{R+1}x_W \quad (8)$$

### 3 Построение рабочей линии ректификационной колонны



A'B' — рабочая линия исчерпывающей колонны;  
B'C — рабочая линия укрепляющей колонны.

# Построение рабочей линии ректификационной колонны

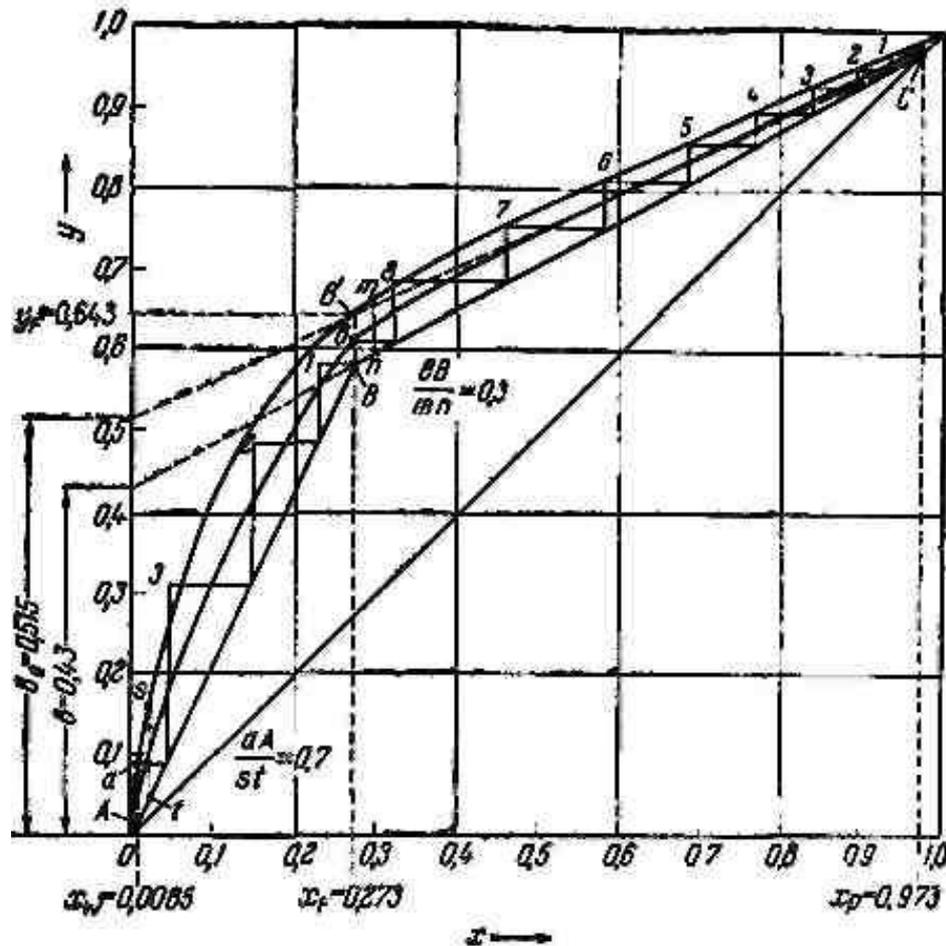
- Подставляя в уравнение (8)  $x = x_w$ , получим  $y = x_w$ , т. е. рабочая линия исчерпывающей колонны проходит через лежащую на диагонали точку  $A'$  с абсциссой  $x_w$
- Найдем абсциссу точки  $B'$  пересечения рабочих линий укрепляющей и исчерпывающей колонн.
- Ордината этой точки, определенная по уравнениям (7) и (8), будет одинаковой;
- После преобразований получим:

$$x = \frac{Px_p + (F - P)x_w}{F} = \frac{Px_p + Wx_w}{F} = \frac{Fx_p}{F} = x_p$$

- абсцисса точки  $B'$  равна составу исходной смеси  $x_p$ .

# Построение рабочей линии ректификационной колонны

Определение числа единиц переноса



## 4 Схемы ректификационных установок

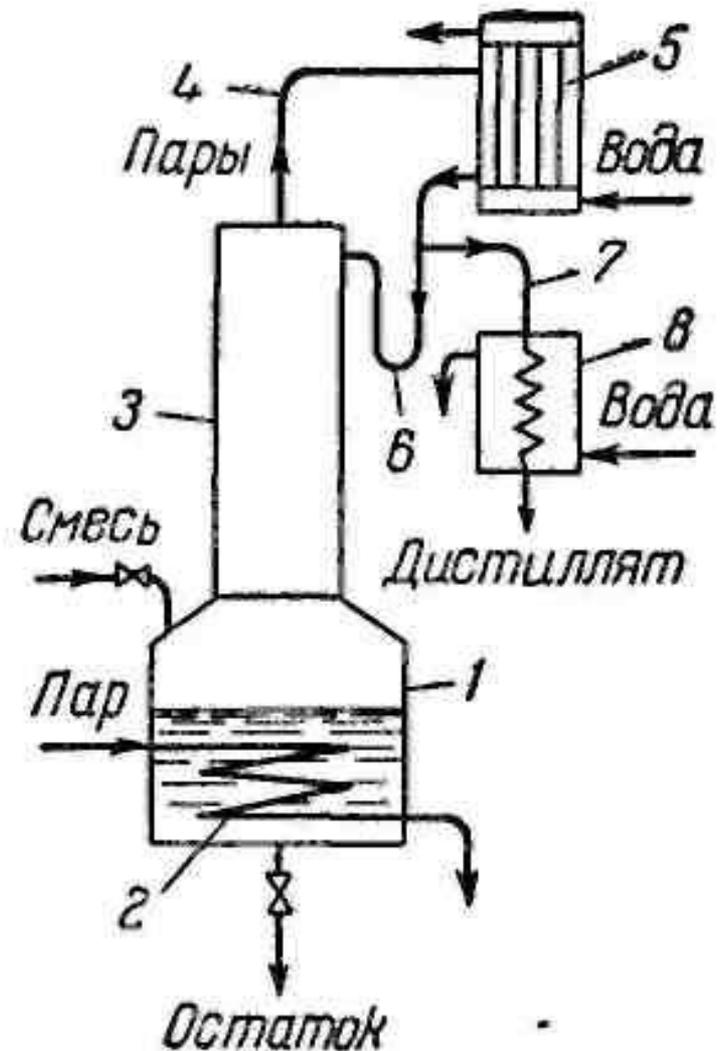
- Ректификацию можно проводить периодическим или непрерывным способом.
- При периодической ректификации смесь загружается в куб 1 и нагревается паром проходящим через змеевик 2.
- После того как смесь в кубе закипит, образующиеся пары начинают поступать в колонну 3, откуда по трубе 4 направляются в дефлегматор 5, где конденсируются.

## **Схемы ректификационных установок**

- **Часть конденсата (флегма) по трубе 6 стекает обратно в колонну, другая часть (дистиллят) по трубе 7 поступает в холодильник 8 и отсюда отводится в приемник дистиллята.**
- **При таком процессе в колонне происходит укрепление паров, а в кубе — исчерпывание смеси.**
- **Исчерпывание продолжается в течение некоторого времени;**
- **когда достигается требуемый состав смеси, операция заканчивается и остаток отводится из куба.**

# Схема ректификационной установки периодического действия

- 1 - куб;
- 2 - змеевик;
- 3 - колонна;
- 4 - труба для отвода паров  
из колонны;
- 5 - дефлегматор;
- 6 - труба для возврата  
флегмы;
- 7 - труба для отбора  
дистиллята;
- 8 - холодильник.

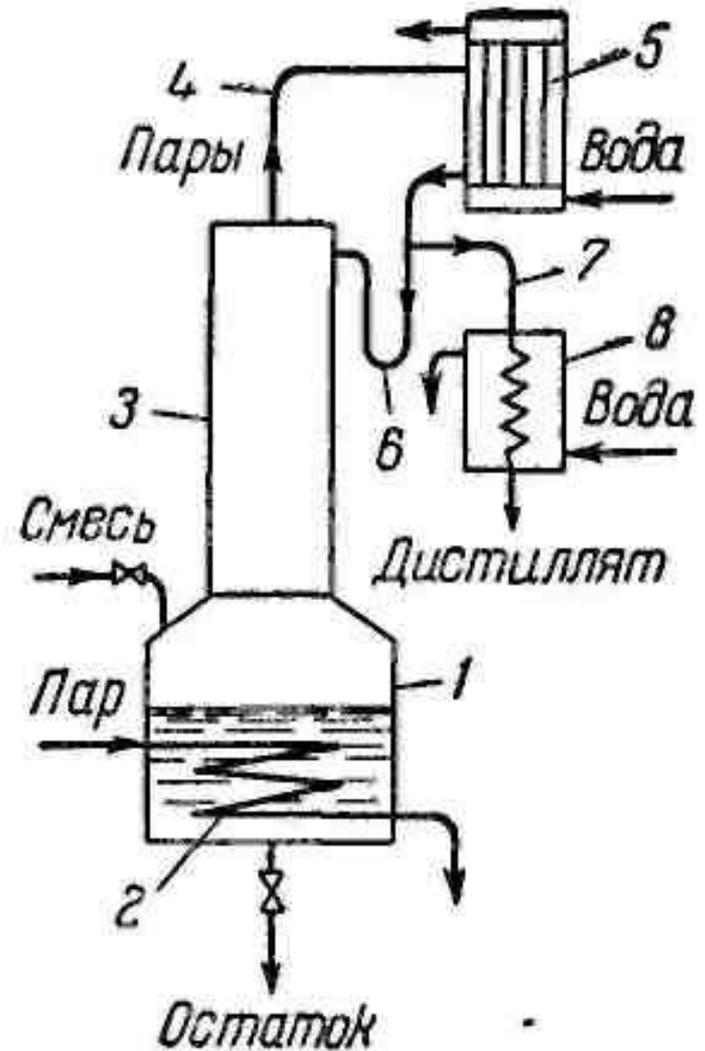


# Схемы ректификационных установок

- По мере протекания процесса условия работы установки постепенно изменяются.
- В начале процесса в колонну поступают из куба пары, богатые НК.
- В этот период нужно сравнительно небольшое количество флегмы, чтобы выделить из паров содержащийся в них ВК.
- В ходе процесса выходящие из куба пары будут все более обогащаться ВК, и для выделения его из паров

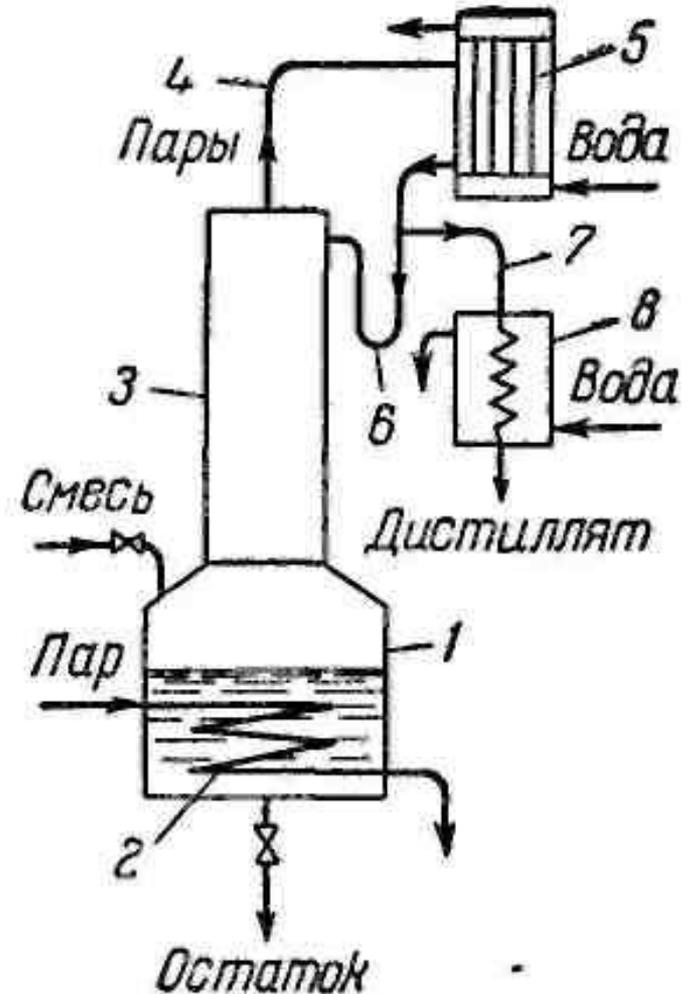
# Схемы ректификационных установок

- При непрерывной ректификации смесь подается в среднюю часть колонны через теплообменник 1, обогреваемый остатком или паром.
- В верхней части колонны 2 расположенной выше точки ввода смеси, происходит укрепление паров.
- В нижней части колонны 3, расположенной ниже точки ввода смеси, происходит исчерпывание жидкости.



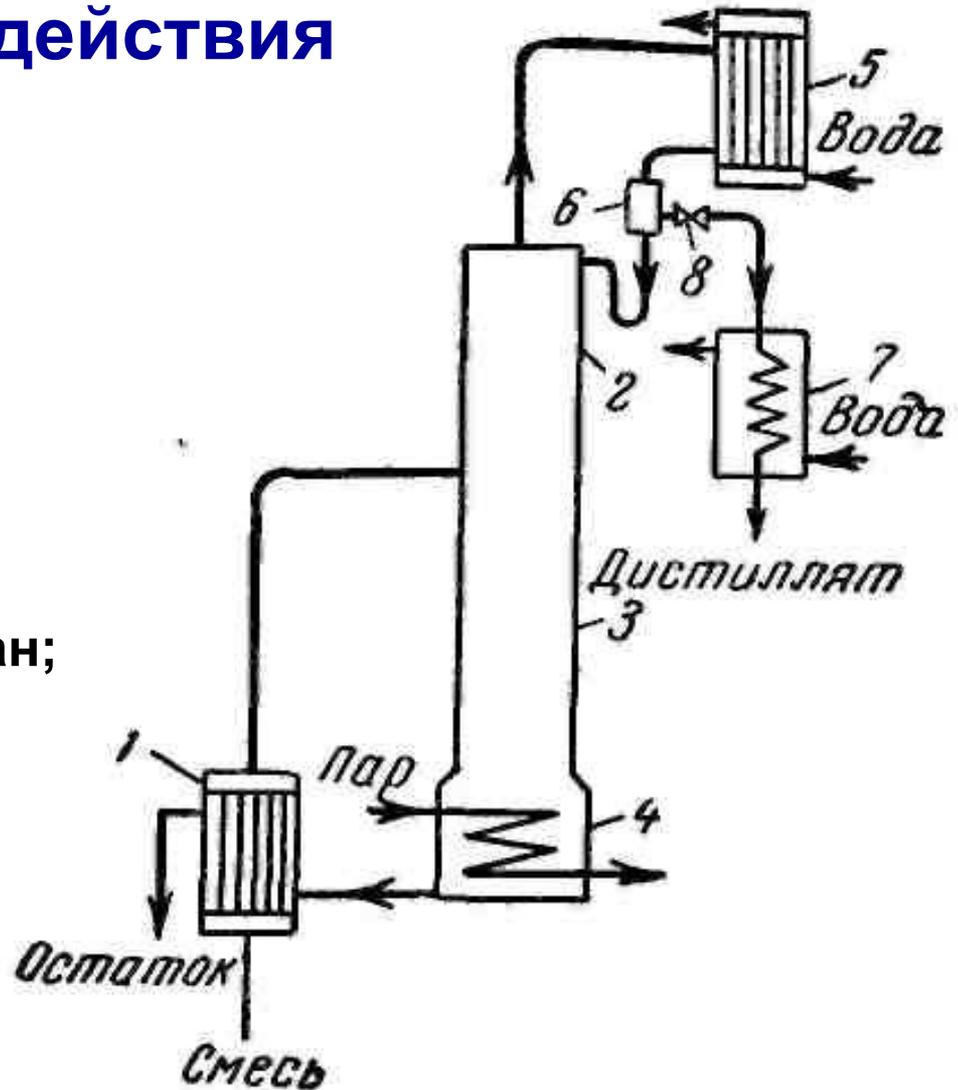
# Схемы ректификационных установок

- Из исчерпывающей колонны жидкость стекает в кипятильник (куб) 4 обогреваемый паром.
- В кипятильнике образуются пары, поднимающиеся вверх по колонне;
- остаток непрерывно отводится из куба.
- Пары, выходящие из укрепляющей части колонны, поступают в дефлегматор 5, откуда флегма возвращается в колонну, а дистиллят направляется в холодильник 7



# Схема ректификационной установки непрерывного действия

- 1 — теплообменник;
- 2 — укрепляющая колонна;
- 3 — исчерпывающая колонна;
- 4 — кипятильник;
- 5 — дефлегматор;
- 6 — распределительный стакан;
- 7 — холодильник;
- 8 — вентиль, регулирующий отбор дистиллята



# **Схемы ректификационных установок**

## **Преимущества непрерывной ректификации по сравнению с периодической:**

- условия работы установки не изменяются в ходе процесса, что позволяет установить точный режим, упрощает обслуживание и облегчает автоматизацию процесса;**
- Отсутствуют простои между операциями, растет производительность;**
- Расход тепла меньше, возможно использование тепла остатка на подогрев исходной смеси.**

# Ректификация под различным давлением

**В зависимости от температуры кипения разделяемых жидкостей ректификацию проводят под различным давлением:**

- **При температурах кипения от 30 до 150° С обычно применяют ректификацию под атмосферным давлением.**
- **Ректификацию в вакууме применяют при разделении высококипящих жидкостей для снижения температур их кипения.**
- **Ректификацию под давлением проводят при разделении жидкостей с низкой температурой кипения, в частности при разделении сжиженных газов.**

# **Ректификация под различным давлением**

**Давление в кубе всегда больше давления наверху колонны на величину ее гидравлического сопротивления.**

**Это имеет особенно большое значение для процесса ректификации, проводимого в вакууме, так как в случае большого гидравлического сопротивления колонны разрежение в кубе может оказаться недостаточным даже при очень глубоком вакууме наверху колонны.**

**Поэтому гидравлическое сопротивление колонн, работающих при разрежении, должно быть возможно меньше.**