


# Ректификация

The background of the slide is a green chalkboard. In the lower-left quadrant, two pieces of pink chalk are lying on the surface. One piece is standing upright, and the other is lying horizontally next to it. There are several faint, white chalk-like markings scattered across the board, including a large, light-colored 'V' shape in the center and some curved lines on the left side.

Выполнил  
Сергей Чекрыжов



**РЕКТИФИКАЦИЯ** (от позднелат. *rectificatio* - выпрямление, исправление), разделение жидких смесей на практически чистые компоненты, отличающиеся температурами кипения, путем многократных испарения жидкости и конденсации паров.

В этом основное отличие ректификации от дистилляции, при которой в результате однократного цикла частичное испарение -конденсация достигается лишь предварительное (грубое) разделение жидких смесей.

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

- атмосферным (т. кип. 30-150 °С),
- выше атмосферного (при разделении жидкостей с низкими т-рами кипения, напр. сжиженных газов),
- в вакууме (при разделении высококипящих жидкостей для снижения их т-р кипения).

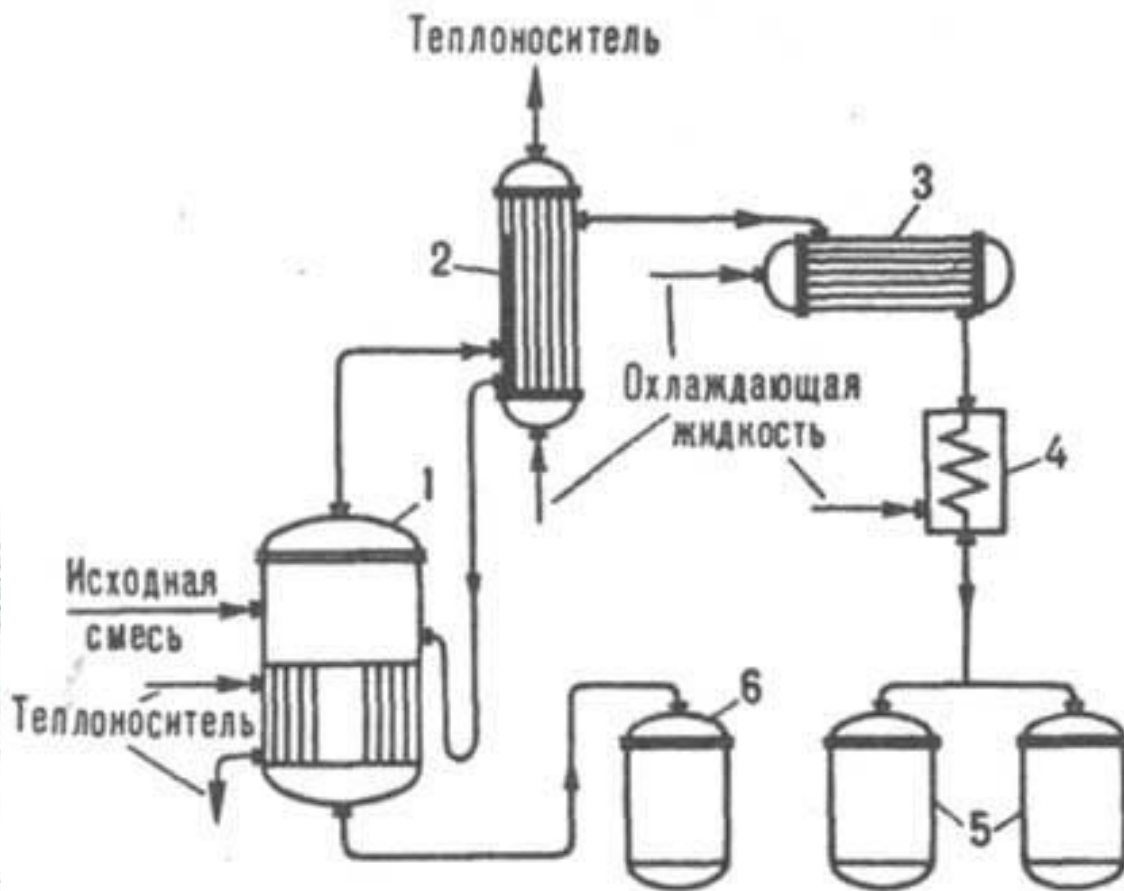
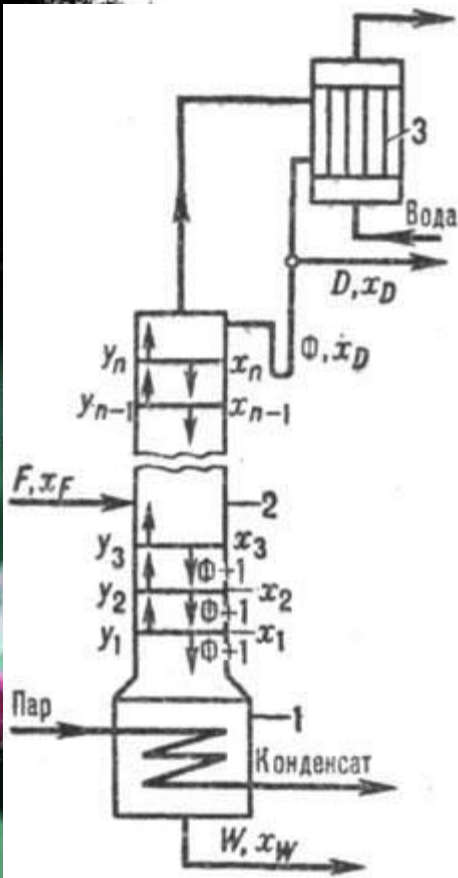


Схема дистилляционной установки-однократного испарения



Для непрерывной ректификации применяют колонны, состоящие из двух ступеней:

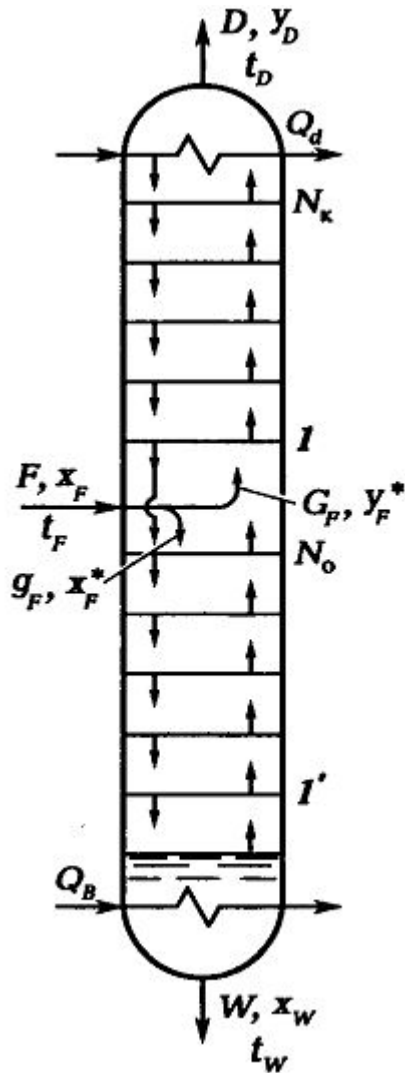
верхней-укрепляющей (в ней пар укрепляется, т. е. обогащается ЛЛК) и

нижней - исчерпывающей (где происходит исчерпывание жидкой смеси, т. е. извлечение ЛЛК и обогащение ее ТЛК).

При периодической ректификации в колонне производится только укрепление пара.

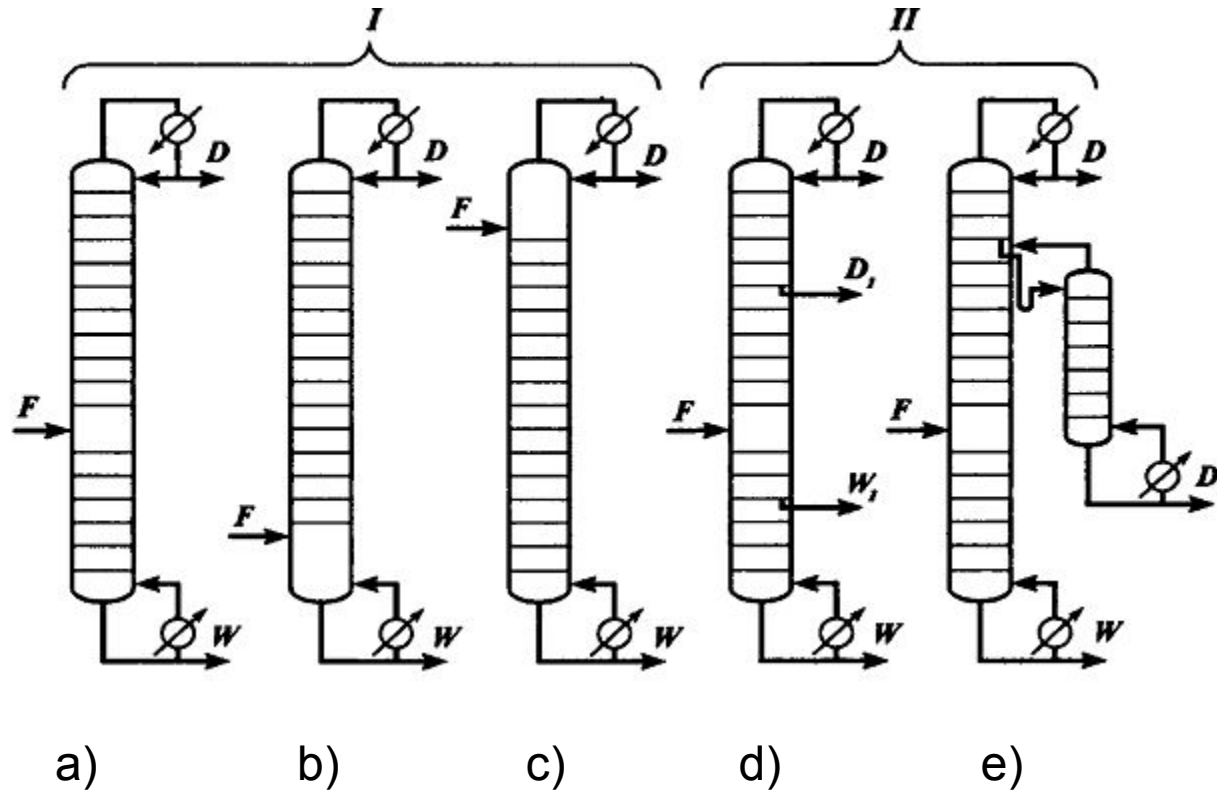
Различают ректификацию бинарных (двухкомпонентных) и многокомпонентных смесей.

# Принципиальная схема простой колонны ректификации




При ректификации в тарельчатых аппаратах исходная смесь в количестве  $F$  с концентрацией низкокипящего компонента  $x_F$  поступает в среднюю часть колонны; верхний продукт-дистиллят в количестве  $D$  с концентрацией низкокипящего компонента  $x_D$  отбирается из дефлегматора, а обедненный этим компонентом остаток в количестве  $W$  с концентрацией  $x_w$  отводится в качестве нижнего продукта из куба-испарителя ( $F, D, W$ -в моль/ч,  $x_F, x_D, x_w$ -в молярных долях). Образующиеся в нем пары поднимаются по колонне, контактируя на тарелках от 1 до  $n$  со стекающей жидкостью, и поступают в дефлегматор, откуда часть образовавшегося конденсата, наз. флегмой возвращается в верх. часть колонны.

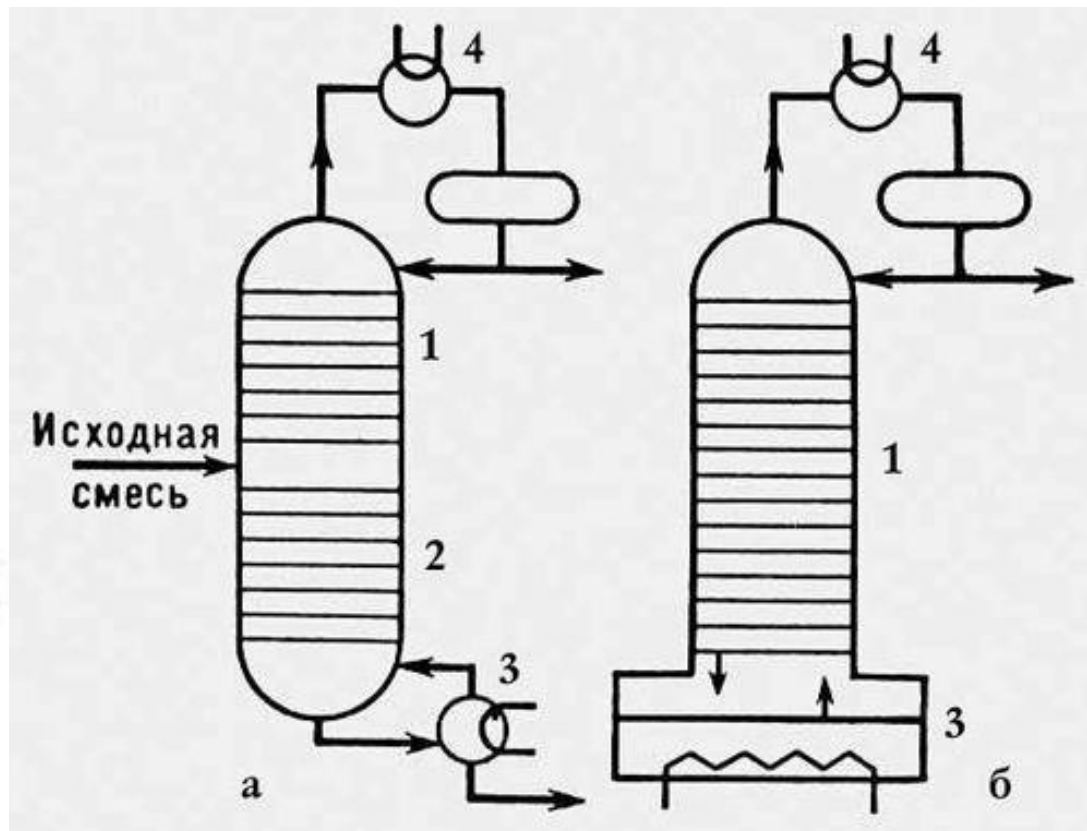
# Схемы простых и сложных колонн ректификации



- a) Полная, b) - укрепляющая, c) отгонная;  
d) с отбором дополнительных продуктов ( $D_1$  и  $W_1$ ) из основной колонны;  
e) с отбором дополнительного продукта  $D_1$  из отпарной колонны



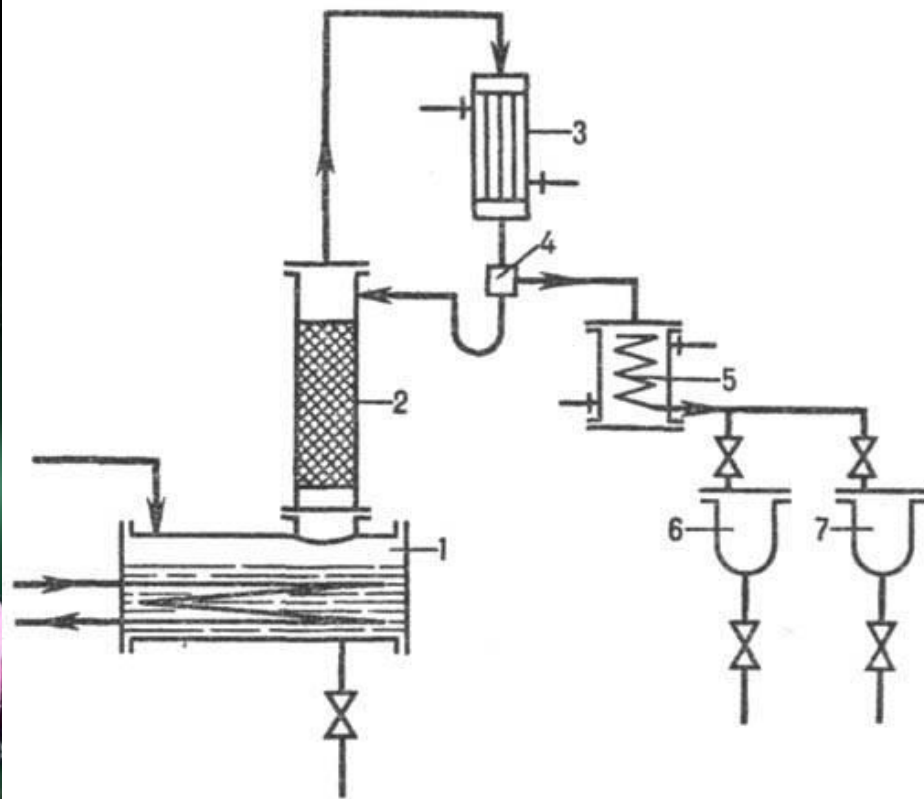
Непрерывная ректификация. При ректификации в тарельчатых аппаратах исходная смесь в количестве  $F$  с концентрацией низкокипящего компонента  $x_F$  поступает (здесь и далее в единицу времени) в среднюю часть колонны; верх. продукт-дистиллят в кол-ве  $D$  с концентрацией низкокипящего компонента  $X_D$  отбирается из дефлегматора, а обедненный этим компонентом остаток в количестве  $W$  с концентрацией  $x_W$  отводится в качестве нижнего продукта из куба-испарителя ( $F, D, W$ -в моль/ч,  $X_D, X_W$ -в молярных долях). Образующиеся в нем пары поднимаются по колонне, контактируя на тарелках от 1 до  $n$  со стекающей жидкостью, и поступают в дефлегматор, откуда часть образовавшегося конденсата, наз. флегмой ( $\Phi$  моль), возвращается в верх. часть колонны.



Ректификацию можно осуществлять а) непрерывно или б) периодически.

При периодической ректификации в колонне производится только укрепление пара.



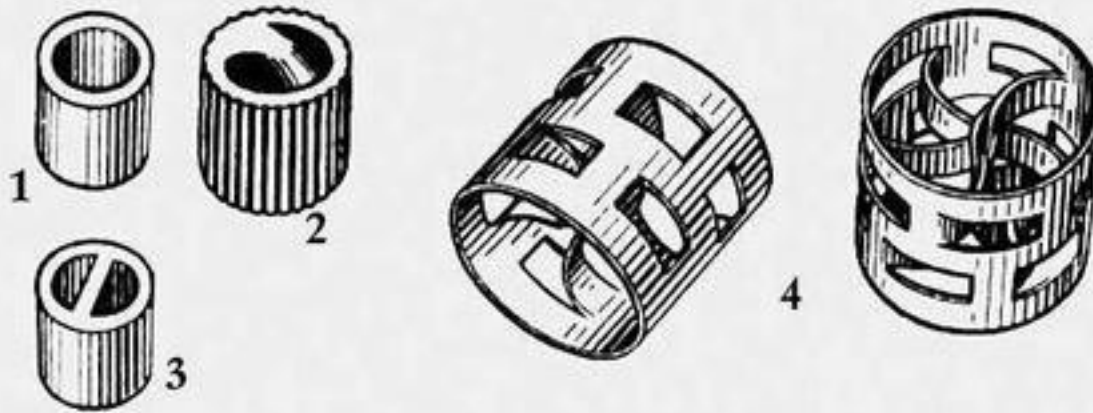


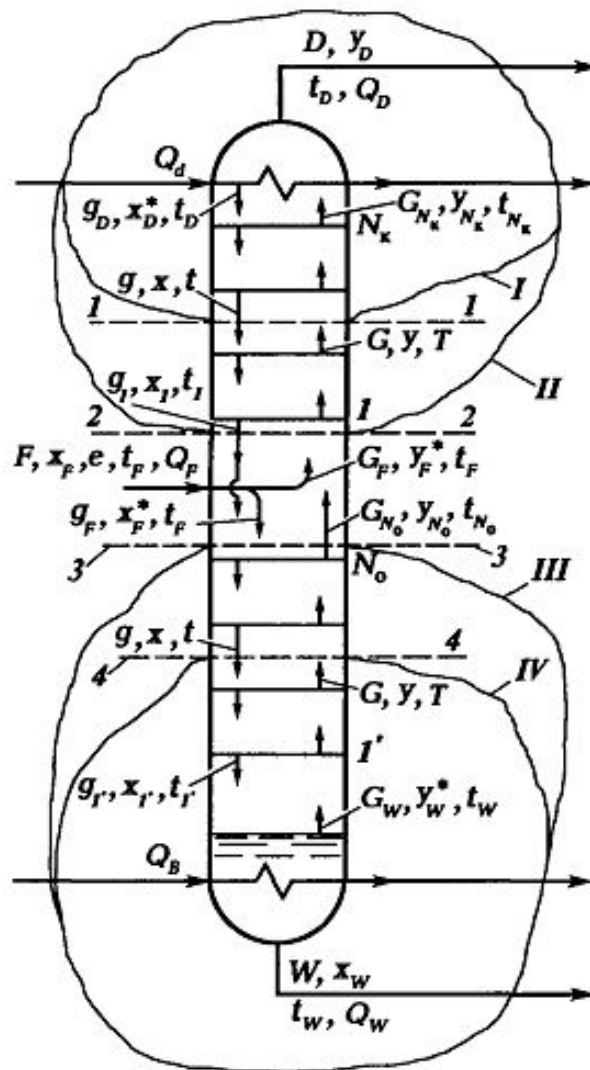
## Периодическая ректификация

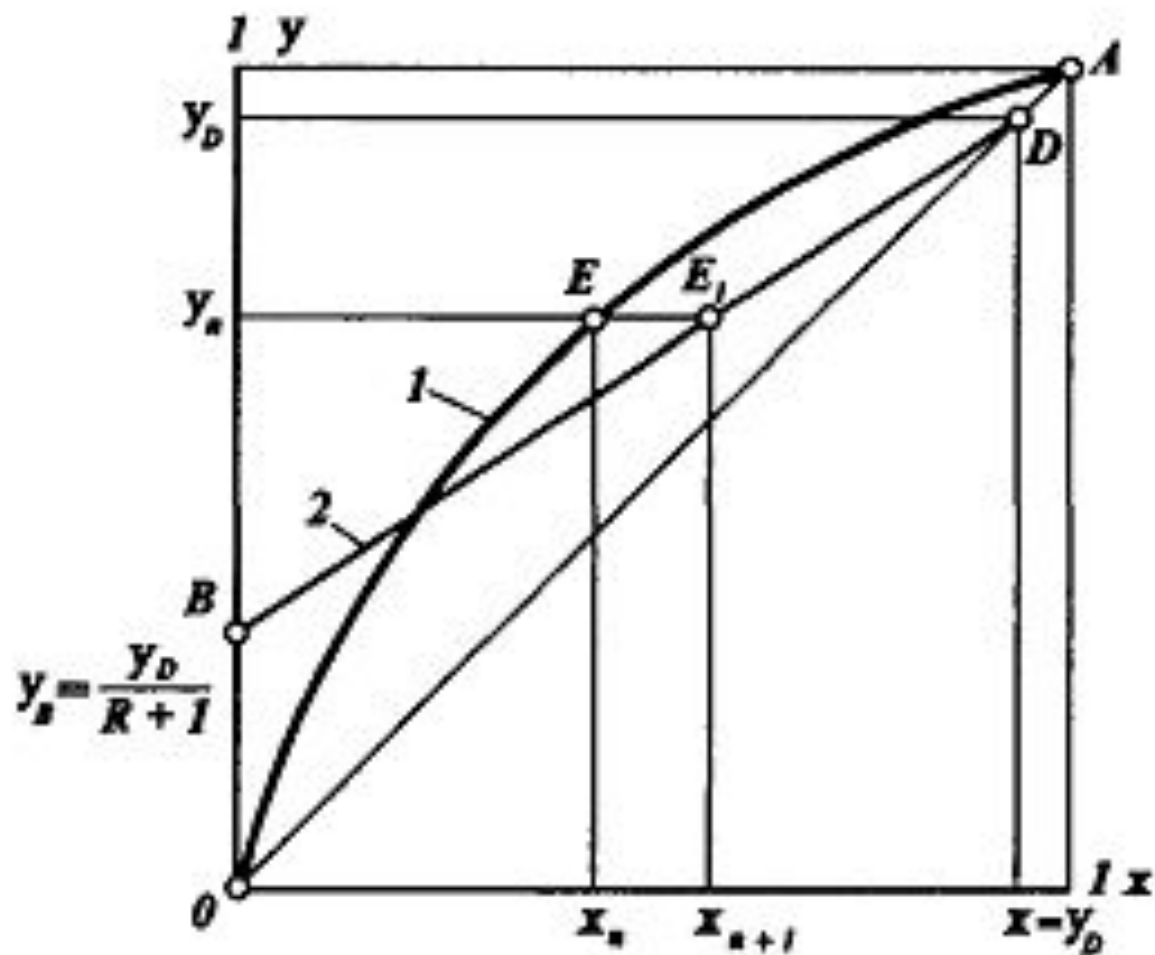
В куб колонны загружают определенное количество подлежащей разделению смеси, где она нагревается до температуры кипения и испаряется. Образующиеся пары проходят через колонну, взаимодействуя в противотоке с жидкостью, поступающей из дефлегматора. В нем конденсируются выходящие из колонны богатые ЛЛК пары, направляемые далее в делитель потоков. Часть конденсата (флегма) поступает обратно в колонну, др. часть (дистиллят)-через холодильник в один из сборников.

Ректификационная установка периодического действия: 1 -куб; 2- колонна; 3-дефлегматор; 4-делитель потоков; 5-холодильник; 6, 7- сборники.

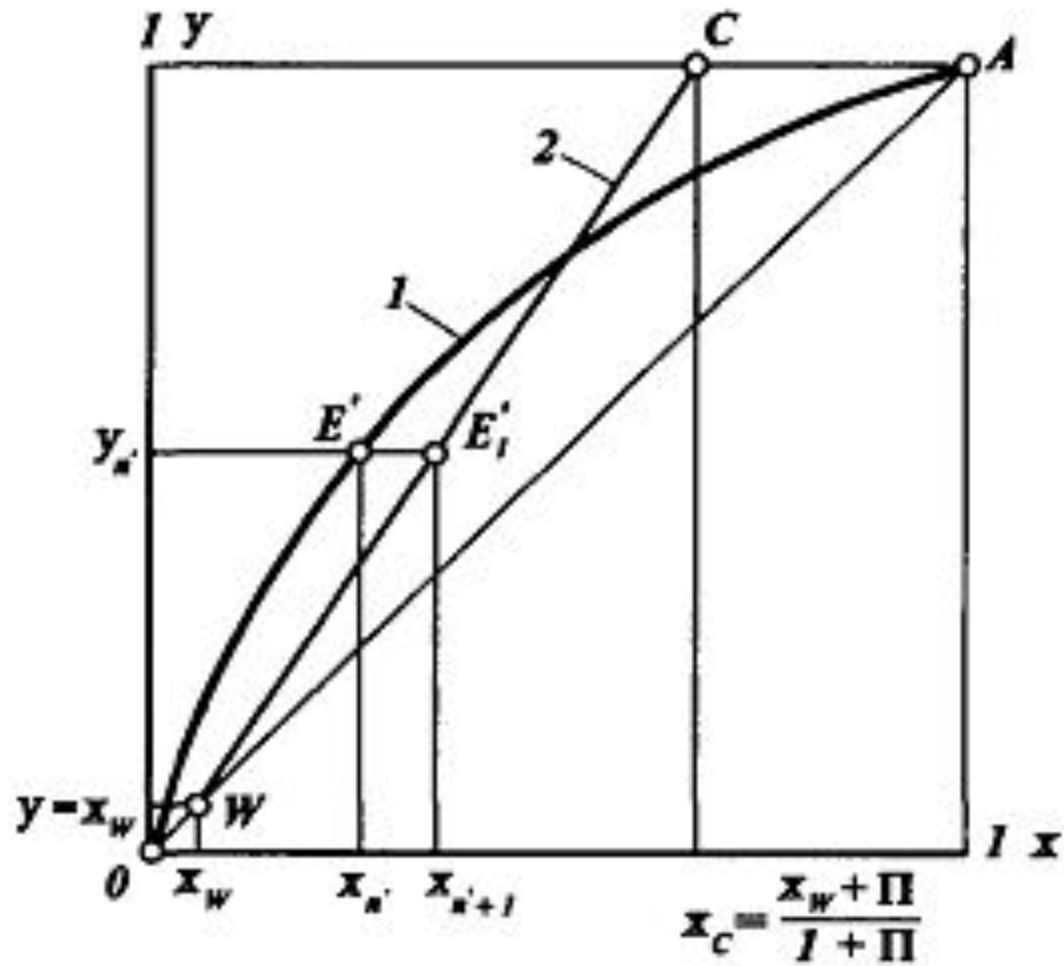
# Насадка колонны





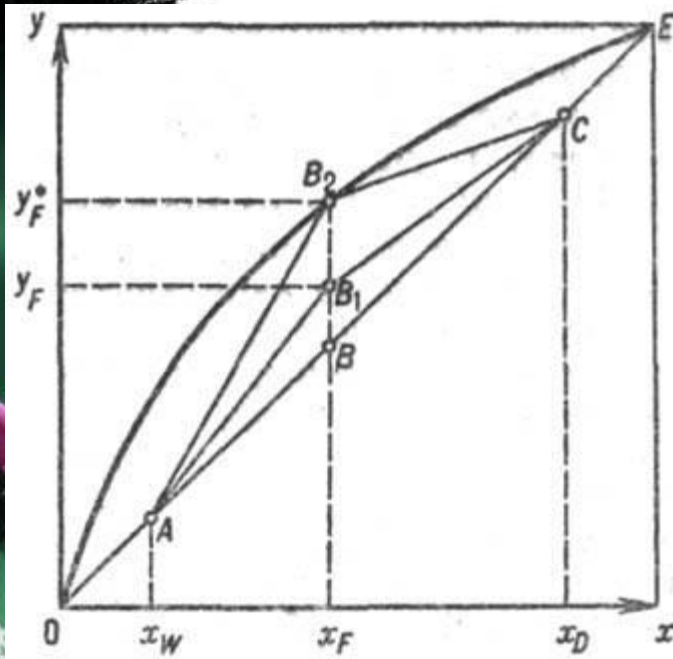


Рабочая линия для верхней части колонны на диаграмме  $x$ - $y$ :  
 1 - кривая равновесия; 2- рабочая линия



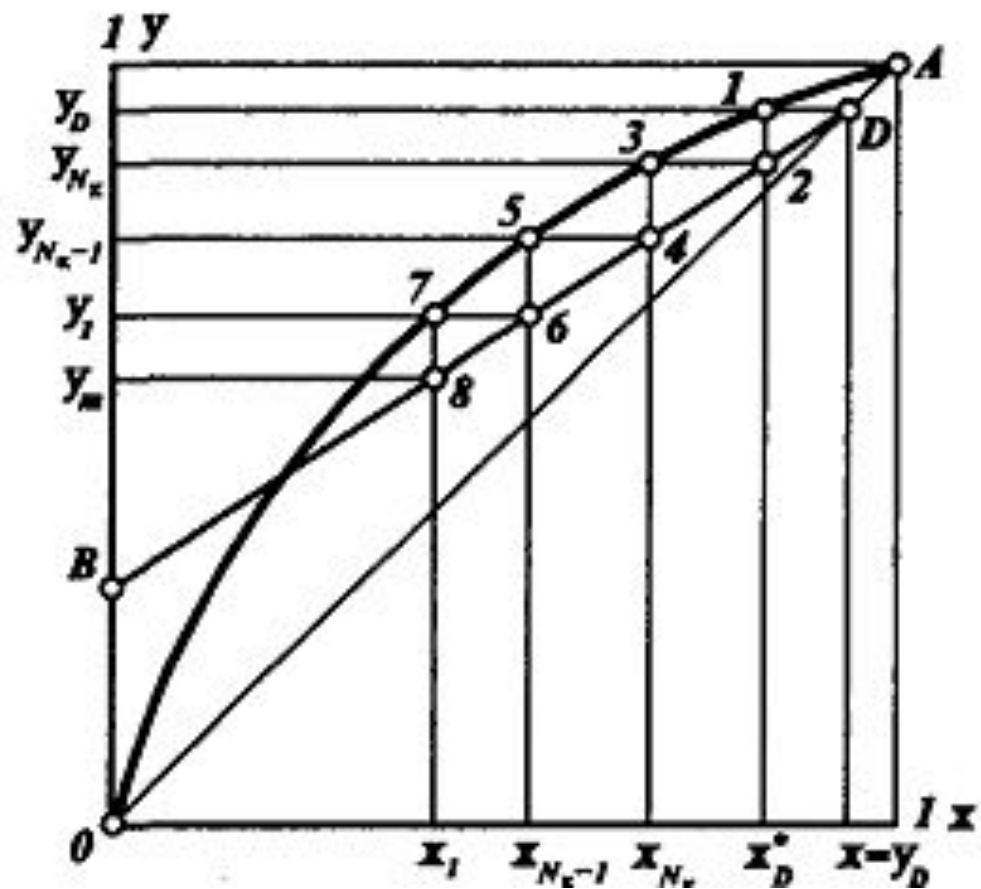
*Рабочая линия для нижней части колонны на диаграмме x-y  
 1 - кривая равновесия; 2- рабочая линия*

## Положение рабочих линий непрерывной ректификации на у-х-диаграмме.

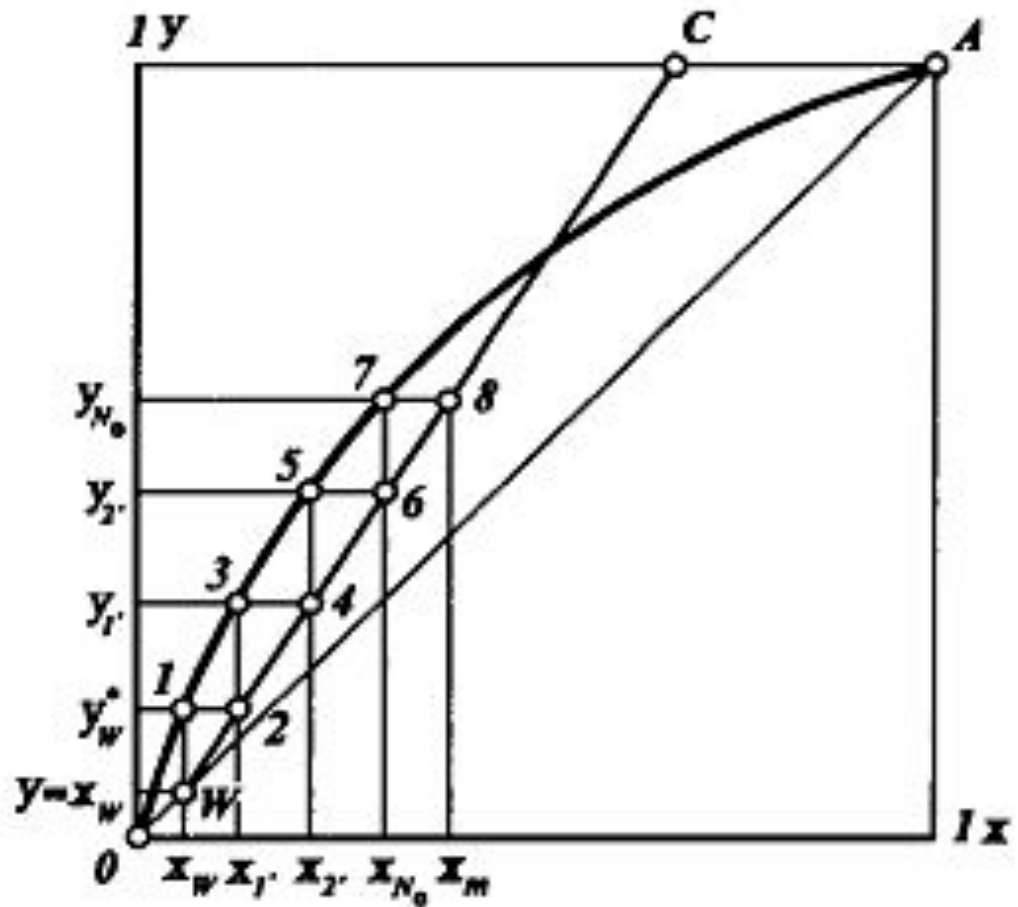


Положение рабочих линий в обеих частях колонны, зависит от  $R$ . На рис. изображено два предельных положения:

- Первый предельный случай-бесконечно большое флегмовое число (колонна работает "на себя", то есть вся жидкость, полученная в результате полной конденсации паров в дефлегматоре, возвращается в колонну в виде флегмы; отбор дистиллята не производится; линии  $CB$  для верха и  $AB$  для низа колонны, при этом рабочая линия совпадает с диагональю диаграммы.
- второе-линии  $CB_2$  для верха и  $AB_2$  для низа колонны,



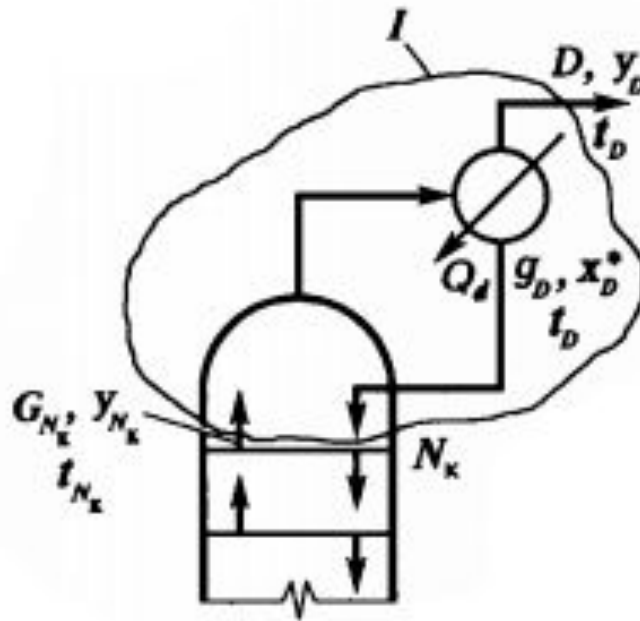
*Графическое определение числа теоретических тарелок для верхней части колонны на диаграмме  $x$ - $y$*



*Графическое определение числа теоретических тарелок для нижней части колонны на диаграмме x-y*

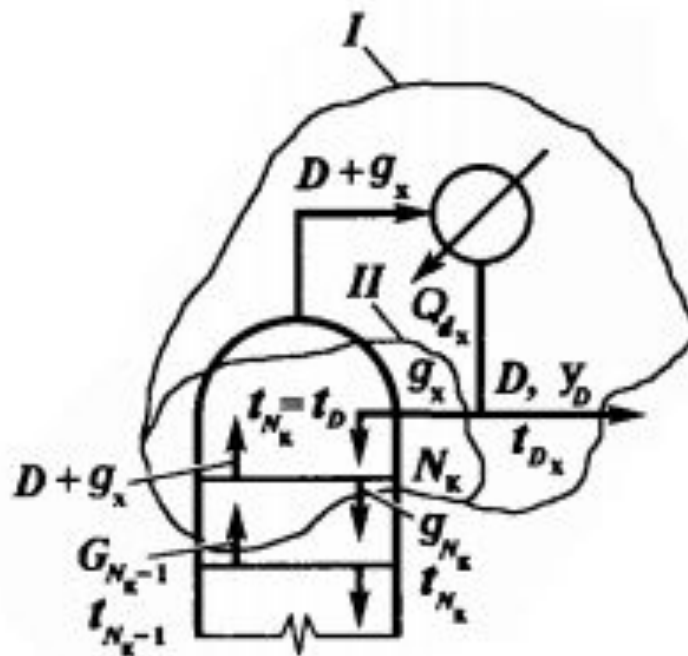


# Схемы основных способов создания орошения в колонне:



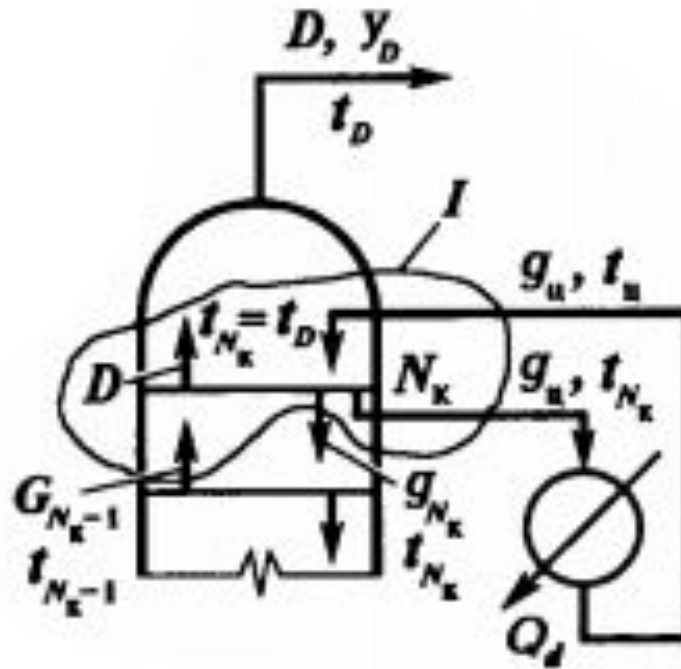
Парциальный конденсатор

# Схемы основных способов создания орошения в колонне:



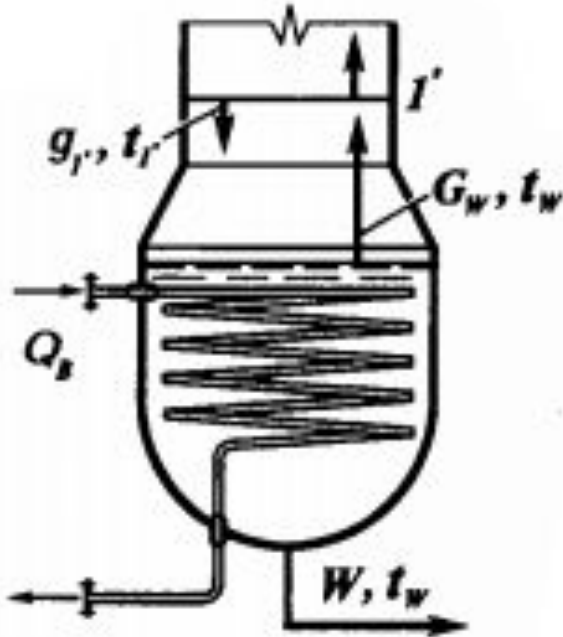
холодное испаряющееся орошение;

# Схемы основных способов создания орошения в колонне:



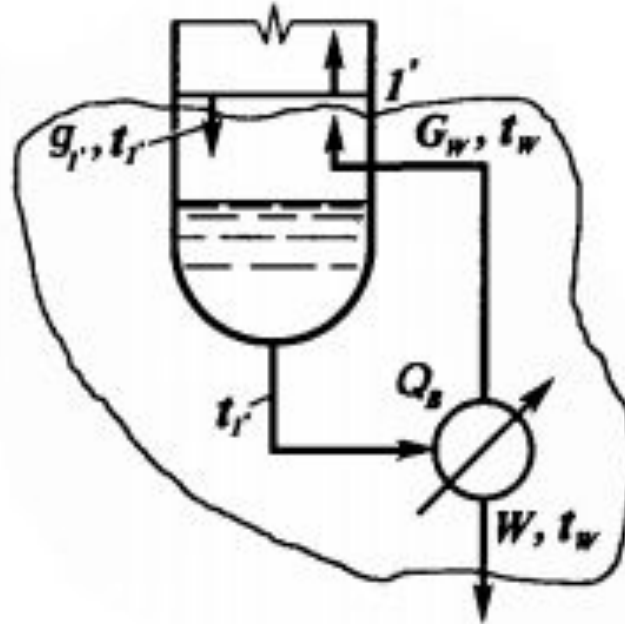
Циркуляционное неиспаряющееся орошение:

# Схемы основных способов подвода тепла в низ колонны:



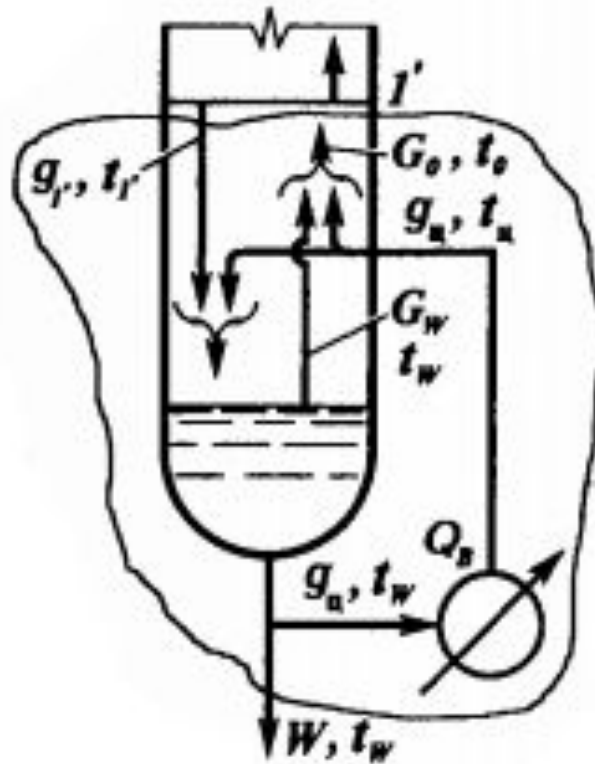
Змеевик теплообменных труб

# Схемы основных способов подвода тепла в низ колонны:

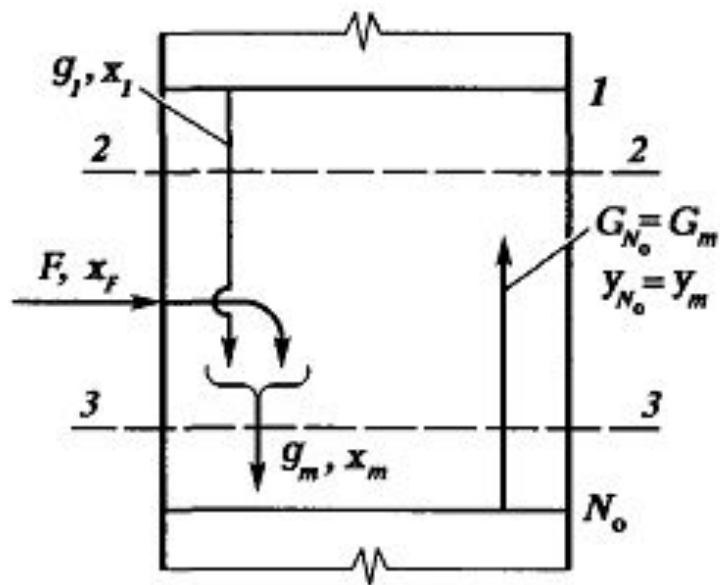


Подогреватель с паровым пространством;

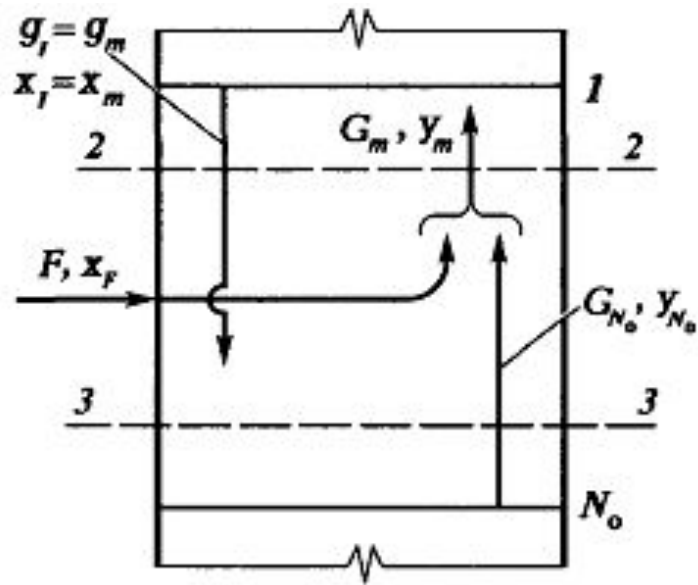
# Схемы основных способов подвода тепла в низ колонны:



Горячая струя



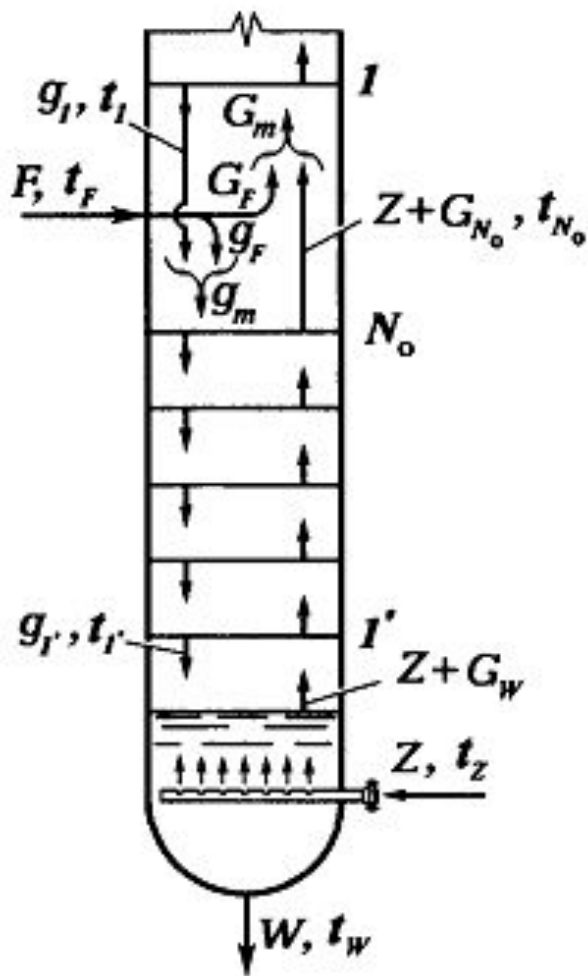
а)



в)

Схема потоков в секции питания колонны при  
подаче сырья в жидком (а) и паровом (в)  
состояниях

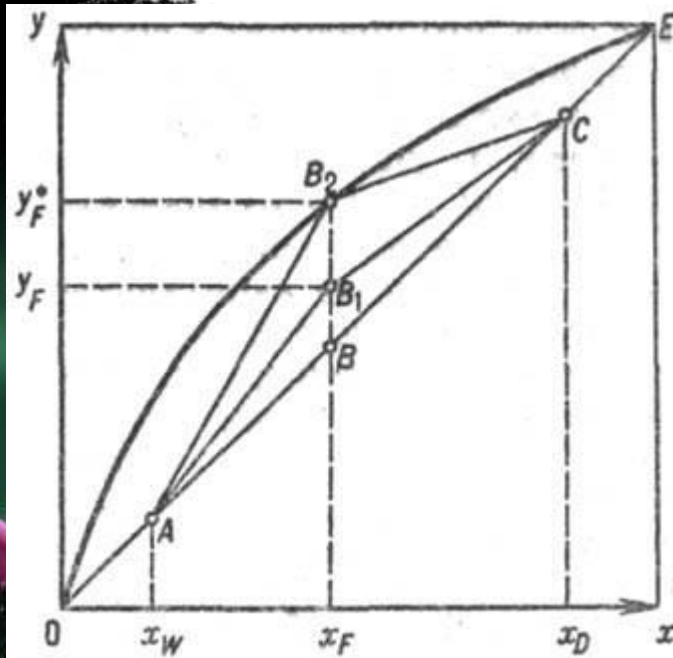
# Схема нижней части колонны, работающей с вводом водяного пара



Ввод водяного пара в ректификационную колонну обусловлен желанием снизить температуру процесса, с тем чтобы избежать разложения нефтепродукта (перегонка мазута, тяжелых нефтяных остатков и т.п.). Температура кипения жидкости может быть снижена также понижением давления в аппарате путем создания вакуума. В нефтепереработке часто применяют оба этих способа понижения температуры кипения смеси.



## Положение рабочих линий непрерывной ректификации на у-х-диаграмме.



Второй предельный случай-рабочие линии пересекают равновесную кривую  $y^*=f(x)$  в точке  $B_2$ . Ректификация возможна, но поскольку в точке  $B_2$  движущая сила равна нулю ( $y^* = y$ ), для проведения процесса потребуется колонна с бесконечно большой поверхностью фазового контакта, работающая при минимальном флегмовом числе, которое составляет:

$$R_{\text{мин}} = (x_D - y_F^*)(y_F^* - x_F), \quad (4)$$

где  $y^*$ -состав пара, равновесный с жр. Положение рабочих линий  $CB_1$  и  $B_1A$  соответствует эксплуатации колонн в производств. условиях. Точка  $B_1$  может приближаться к верх. пределу  $B_2$  либо к ниж. пределу  $B$ ; при этом флегмовое число, при котором функционирует колонна, или рабочее флегмовое число ( $R_{\text{раб}}$ ), изменяется от  $R_{\text{мин}}$  до  $R = \infty$ . С уменьшением  $R$  снижается расход теплоты на испарение жидкости в кубе колонны, однако уменьшается движущая сила, что приводит к необходимости увеличивать высоту колонны, т.е. к росту капитальных затрат. Оптим. флегмовое число следует определять на основе техн.-экономич. расчетов.

Материальный баланс по ЛЛК для всей колонны имеет вид:

$$Fx_F = Dx_D + Wx_W. \quad (1)$$

При работе колонны в адиабатических условиях и равенстве молярных теплот испарения компонентов в каждом сечении укрепляющей части (выше ввода питания) концентрация ЛЛК в паре связана с его концентрацией в жидкости  $x$  уравнением так называемой рабочей линии:

$$y = x \frac{R}{R+1} + \frac{x}{R+1}, \quad (2)$$

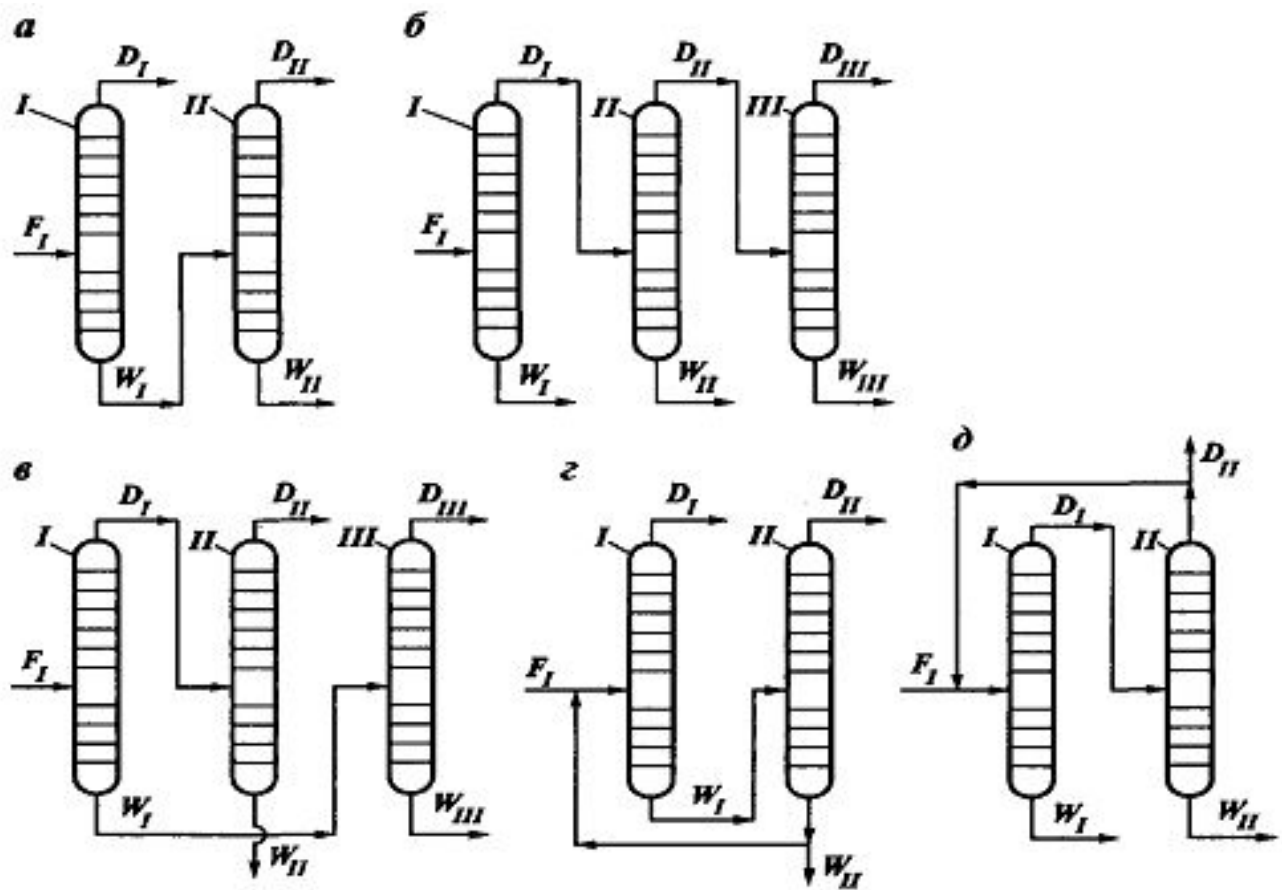
где  $R = \Phi/D$  - флегмовое число.

Ур-ние рабочей линии для исчерпывающей части колонны (ниже ввода питания):

$$y = x \frac{R+f}{R+1} + x_W \frac{1-f}{R+1}, \quad (3)$$

где  $f = F/D$ .

Зависимость между предельными, или равновесными, концентрациями распределяемого в-ва в фазах изображается графически т. наз. равновесной линией.



*Схемы основных способов соединения простых колонн при ректификации многокомпонентной смеси:*

*а — последовательное по потокам остатка;*

*б — последовательное по потокам ректификата;*

*в — последовательно-параллельное;*

*г — с ре-циклом остатка;*

*д — с рециклом ректификата;*

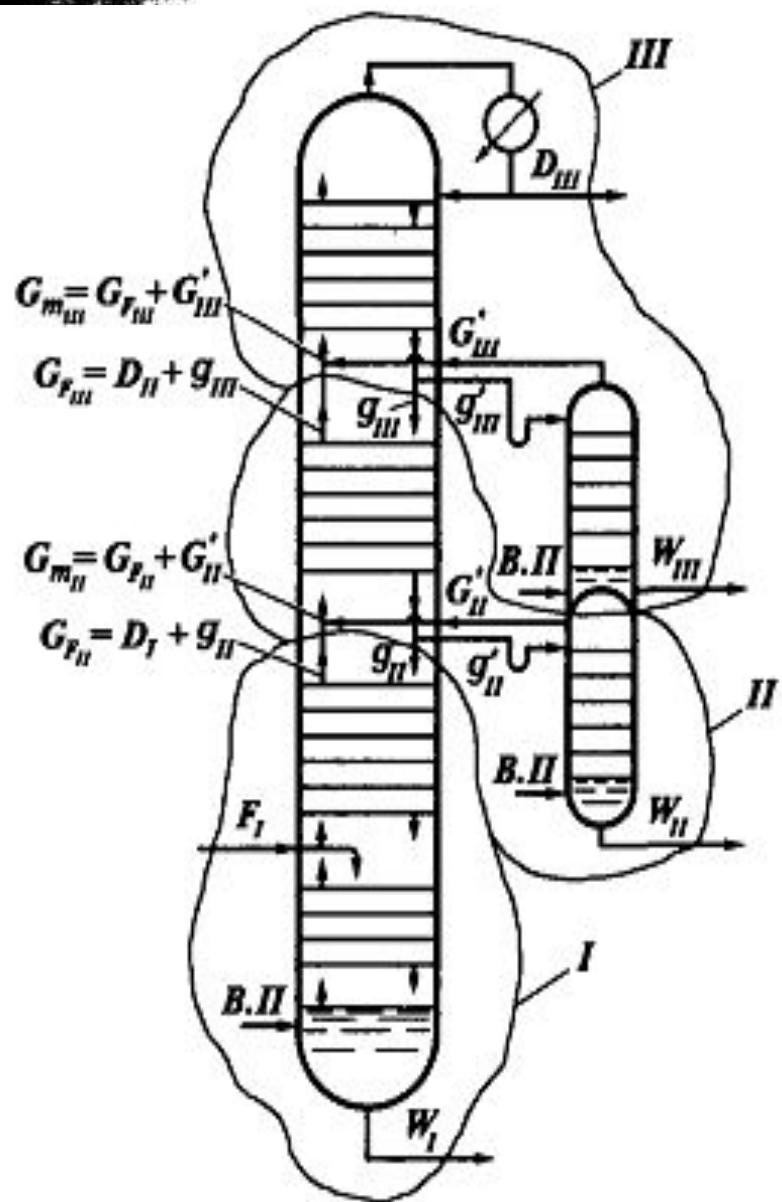
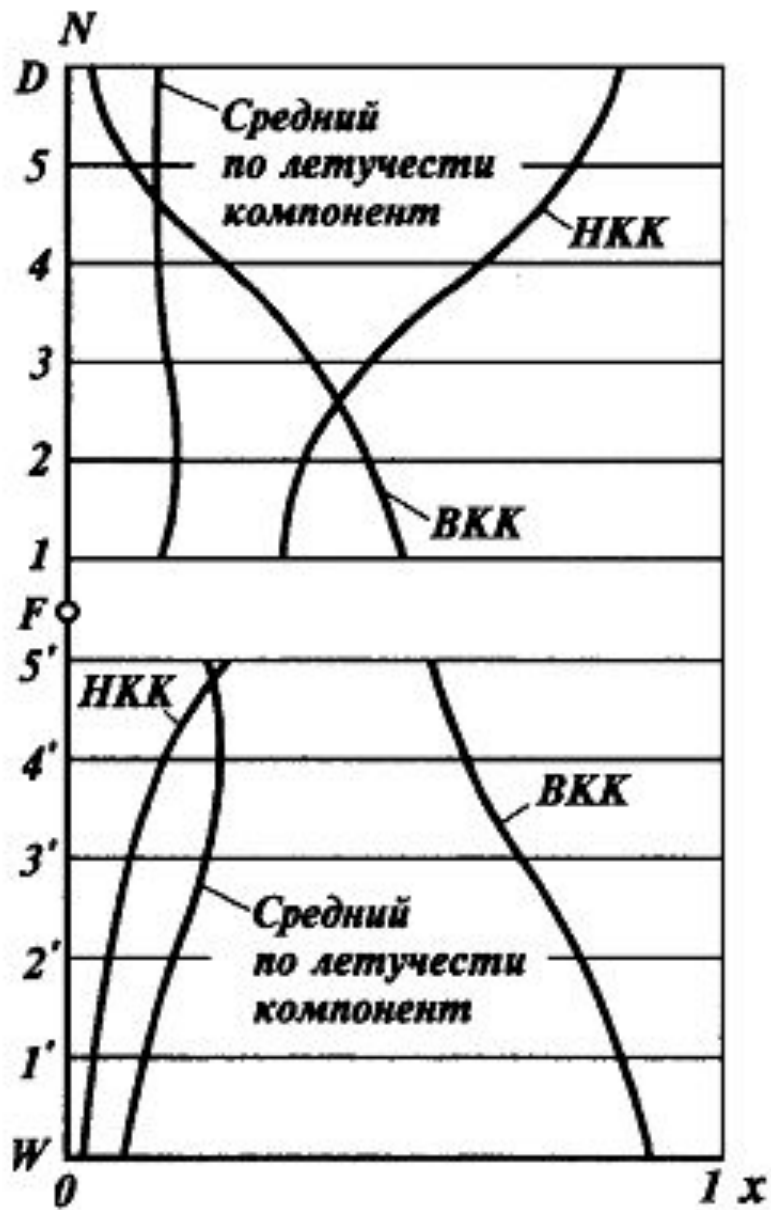


Схема сложной колонны для  
 ректификации  
 четырехкомпонентной смеси:



Графическое распределение концентраций компонентов по высоте колонны при разделении трехкомпонентной смеси:  
 1, 2',..., 5',  
 1, 2, ..., 5 — номера тарелок

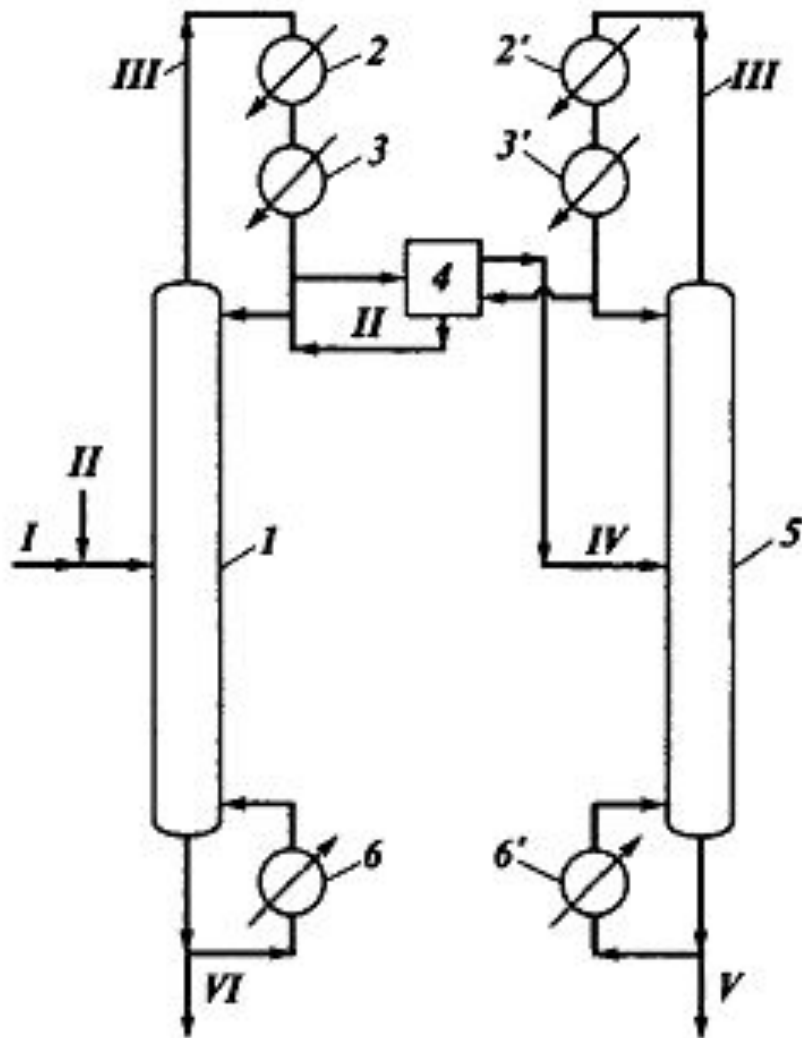


Схема установки для азеотропной ректификации:

I - колонна для азеотропной ректификации;

2, 2' - конденсаторы;

3, 3' - холодильники;

4 - расслаиватель;

5 - колонна, для регенерации разделяющего агента;

6, 6' - кипятильники.

Потоки: / - исходная смесь;

II - разделяющий агент;

III - азеотроп;

IV - смесь низкокипящих компонентов и разделяющего агента;

V — низкокипящий компонент;

VI — высококипящий компонент

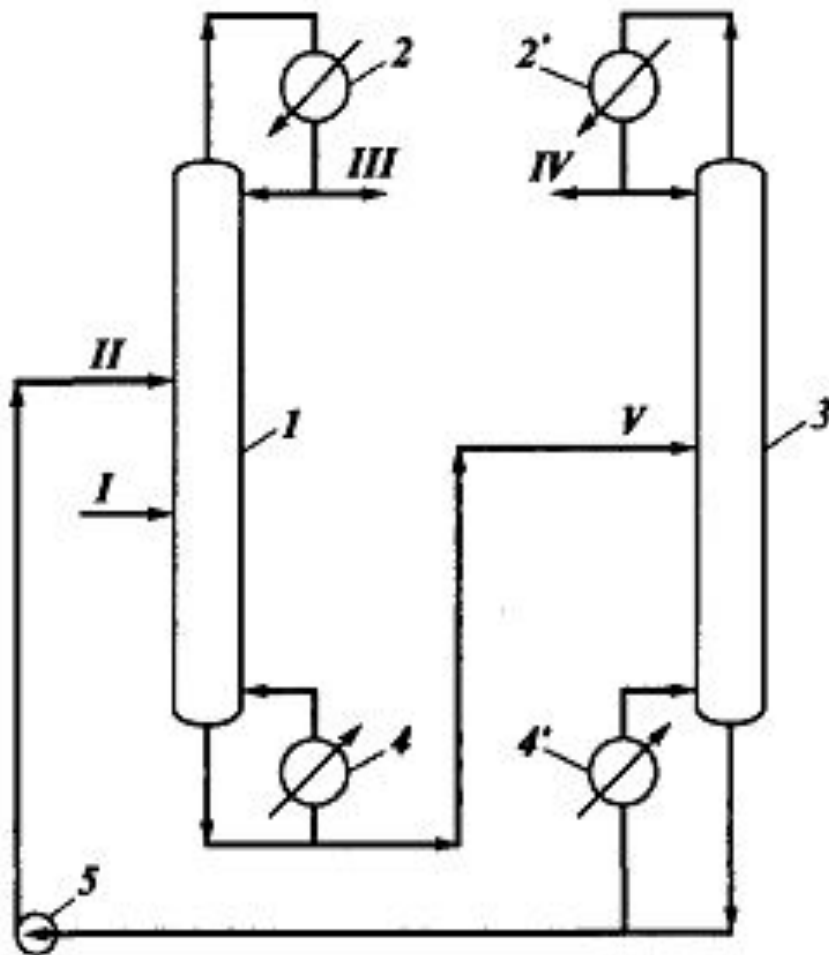


Схема установки для  
 экстрактивной ректификации:  
 1 - колонна для экстрактивной  
 ректификации;  
 2, 2' - конденсаторы;  
 3 - колонна для регенерации  
 разделяющего агента;  
 4, 4' - кипятильники;  
 5 - насос.

Потоки: 1 - исходная смесь;  
 II - разделяющий агент;  
 III - низкокипящий компонент;  
 IV - высококипящий  
 компонент; V - смесь  
 высококипящих компонентов и  
 разделяющего агента