

СЭТБАЕВ
УНИВЕРСИТЕТИ



SATBAYEV
UNIVERSITY

Классификация разомкнутых
гидравлических систем.
Гидравлическая устойчивость
потока в горизонтальных трубах, в
вертикальных трубах

Преподаватель: Кафедра «Энергетики», PhD доктор,
ассоциированный профессор Онгар Булбул

b.ongar@satbayev.university

Введение

- 1 Циркуляция рабочего тела в котла;
- 2 Параметры движения пароводяной смеси;
- 3 Режимы движения ПВС в вертикальных трубах;
- 4 Эпюра скоростей ПВС в вертикальных трубах;
- 5 Измерение температуры ПВС в тракте котлов докритического давления;
- 6 Измерение температуры ПВС в тракте котлов СКД;
- 7 Режимы движения ПВС в горизонтальных трубах;
- 8 Режимы движения ПВС в гигах испарительных поверхностей нагрева;
- 9 Гидродинамика паровых котлов с естественной циркуляцией.

ЦИРКУЛЯЦИЯ РАБОЧЕГО ТЕЛА В КОТЛЕ

Что это?

Какие типы циркуляции?

Назначение циркуляции?

Надежная работа котельной установки требует такой организации процессов, происходящих в пароводяной его части, которые обеспечивают максимальное приближение температуры стенки к температуре рабочей среды

ПАРАМЕТРЫ ДВИЖЕНИЯ ПАРОВОДЯНОЙ СМЕСИ

- средняя скорость пароводяной смеси (w_{cp});
- приведенную скорости воды (w_0') и пара (w_0'');
- скорость циркуляции (w_0);
- массовое паросодержание потока пароводяной смеси (x);
- истинное паросодержание потока пароводяной смеси (y).

Массовый расход смеси (кг/с) в данном сечении представляет собой сумму массовых расходов воды и пара:

$$G_{\text{см}} = G' + G''$$

Средняя скорость пароводяной смеси (м/с) в данном сечении представляет собой отношение массового расхода к полному внутреннему сечению f :

$$w_{\text{ср}} = G_{\text{см}} / f_0 \rho_{\text{см}}$$

Приведенные скорости (м/с) воды (w_0') и пара (w_0'') определяются по формулам:

$$w_0' = G' / f_0 \rho'; w_0'' = G'' / f_0 \rho''$$

ПАРАМЕТРЫ ДВИЖЕНИЯ ПАРОВОДЯНОЙ СМЕСИ

Скоростью циркуляции называется скорость, которую бы имела вода, если бы она протекала через сечение с тем же массовым расходом, что и пароводяная смесь (т.е. скорость воды на входе в подъемные парогенерирующие трубы):

$$w_0 = G_{см} / f_0 \rho'$$

Массовая скорость для любого участка трубы постоянна:

$$\rho' w_0 = \rho_{см} w_{см} = \text{const}$$

Массовое паросодержание потока пароводяной смеси, или доля пара в пароводяном потоке, находится из формулы:

$$x = G'' / G_{см}; \quad x = (i_{см} - i') / r$$

ПАРАМЕТРЫ ДВИЖЕНИЯ ПАРОВОДЯНОЙ СМЕСИ

Массовое влагосодержание ПВС:

$$1 - x' = G'' / G_{\text{см}}$$

Объемное паросодержание ПВС определяется следующим образом:

$$\beta = V'' / V_{\text{см}}$$

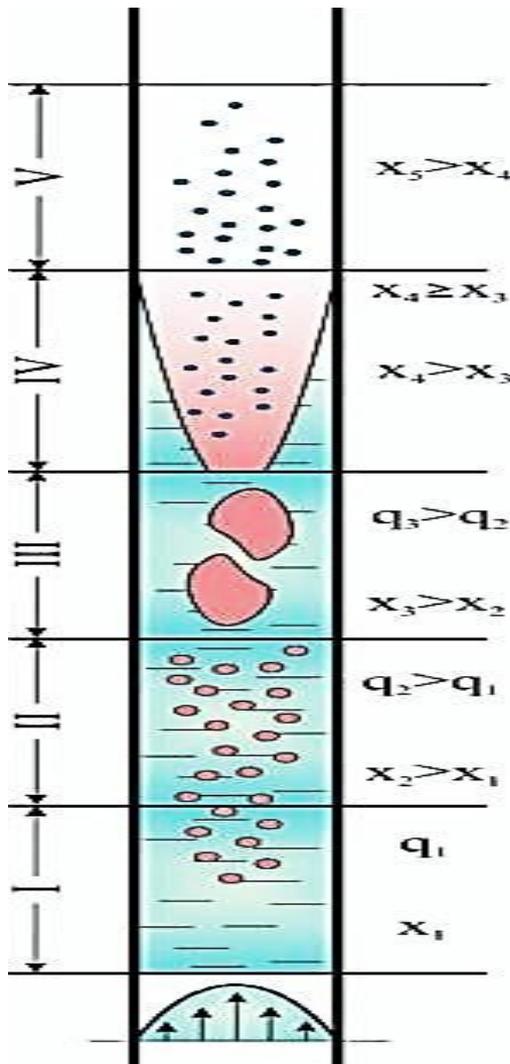
Истинное паросодержание потока пароводяной смеси определяется по формуле:

$$y = f'' / f_0$$

ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ ИСПАРИТЕЛЬНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ НАГРЕВА:

1. В вертикальных трубах
2. В горизонтальных трубах
3. В гйбах труб

РЕЖИМЫ ДВИЖЕНИЯ ПВС В ВЕРТИКАЛЬНЫХ ТРУБАХ



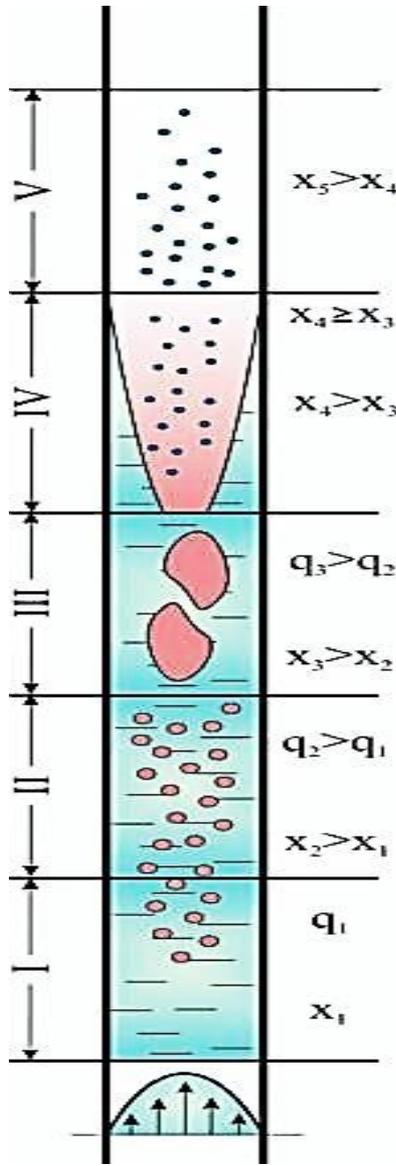
участок I - *пузырьковый*

- ($t_{cm} < t_H$) - область однофазного потока жидкости

- ($t_{cm} > t_H$) - ядро потока еще не догрето до t_H , а пристенный слой перегрет, на стенке происходит образование паровых пузырей

- происходит постепенный прогрев ядра потока, толщина пристенного слоя с паровыми пузырьками увеличивается и пристенные двухфазные слои смыкаются

РЕЖИМЫ ДВИЖЕНИЯ ПВС В ВЕРТИКАЛЬНЫХ ТРУБАХ



участок II - эмульсионный режим

- возрастает тепловой поток на парогенерирующие трубы и увеличивается паросодержания в ПВС.

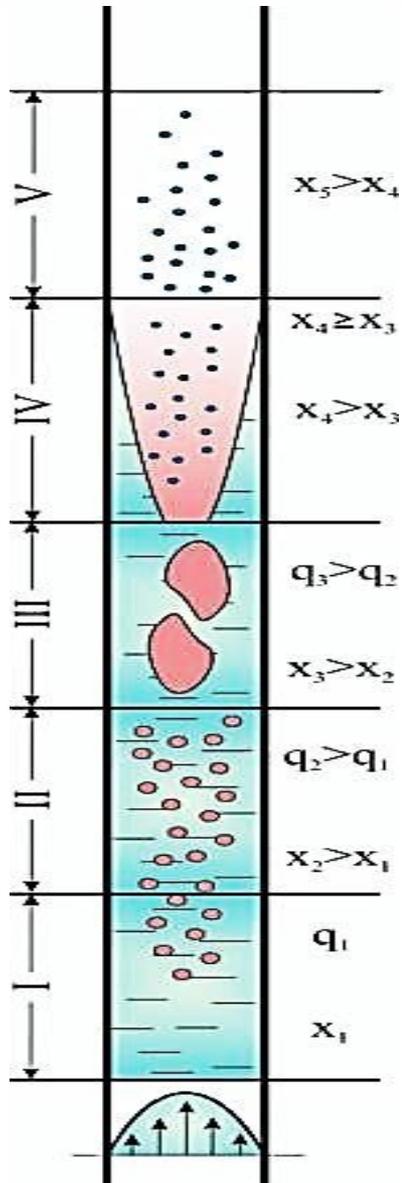
Паровая фаза распределена в потоке в виде небольших объемов, между которыми находится слой жидкости

участок III – снарядным

- увеличением паросодержания и скорости движения ПВС водяная пленка, омывающая трубу изнутри, становится тоньше

- пузырьки пара начинают объединяться в крупные конгломераты, и пузырьковый режим сменяется снарядным

РЕЖИМЫ ДВИЖЕНИЯ ПВС В ВЕРТИКАЛЬНЫХ ТРУБАХ



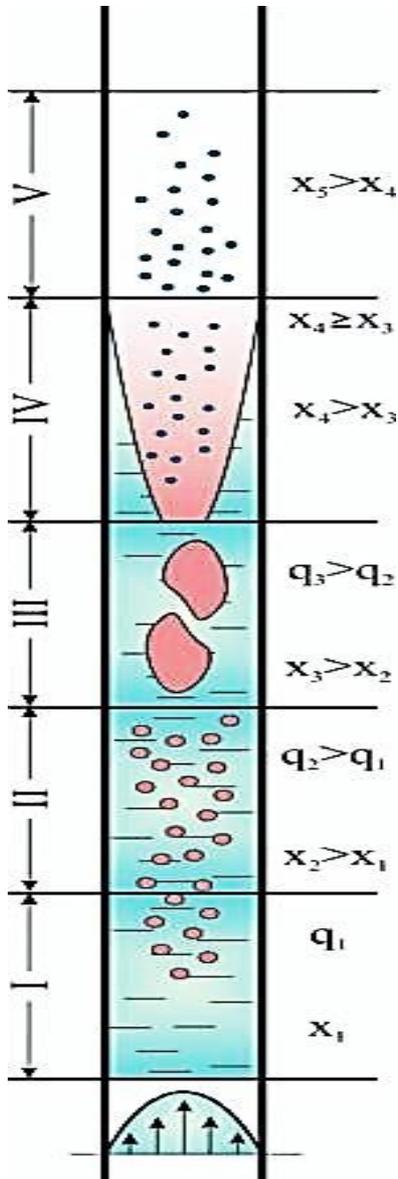
участок IV - дисперсно-кольцевой (стержневой режим)

- происходит разрыв жидких пленок между паровыми объемами,
- паровой объем образует в центре трубы сплошной паровой поток, в котором содержатся водяные капли

участок V - кольцевой режим

- вода срывается с внутренней стенки трубы и уносится потоком пара, а тончайшая водяная пленка на стенке высыхает
- вода заполняет центральное сечение парогенерирующей трубы, а пар отделяет поток жидкости от теплообменной поверхности

РЕЖИМЫ ДВИЖЕНИЯ ПВС В ВЕРТИКАЛЬНЫХ ТРУБАХ



участок I - пузырьковый

участок II - эмульсионный режим

участок III – снарядным

**участок IV - дисперсно-кольцевой
(стержневой) режим**

участок V - кольцевой режим

Переход от пузырькового к эмульсионному режиму осуществляется при $x > 10 \%$.

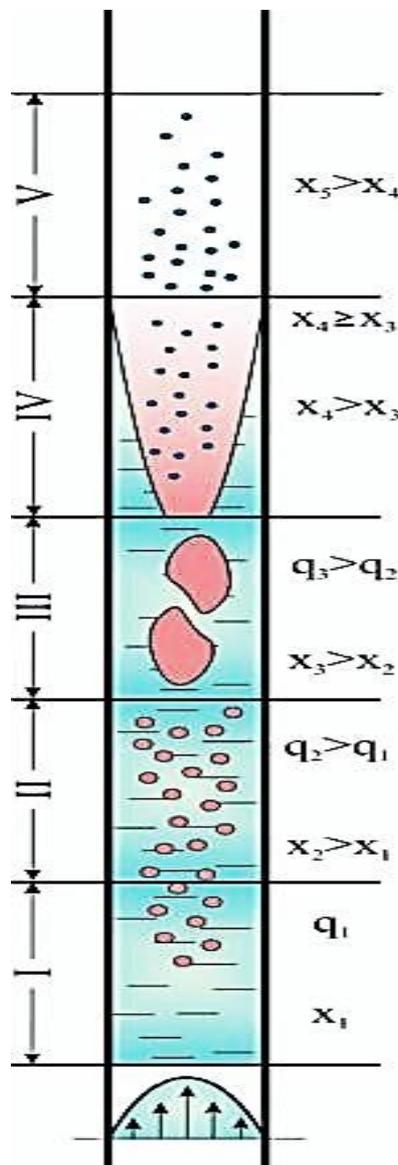
Начало развития стержневого режима зависит от происхождения при $x > 35 - 50 \%$,

Переход к обращенному дисперсно-кольцевому режиму – при $x > x_{кр}$ ($\sim 90 \%$).

В котлах с естественной циркуляцией желательно иметь $x > 25-30 \%$ (т.е.

пузырьковый и дисперсно-кольцевой режимы)

РЕЖИМЫ ДВИЖЕНИЯ ПВС В ВЕРТИКАЛЬНЫХ ТРУБАХ



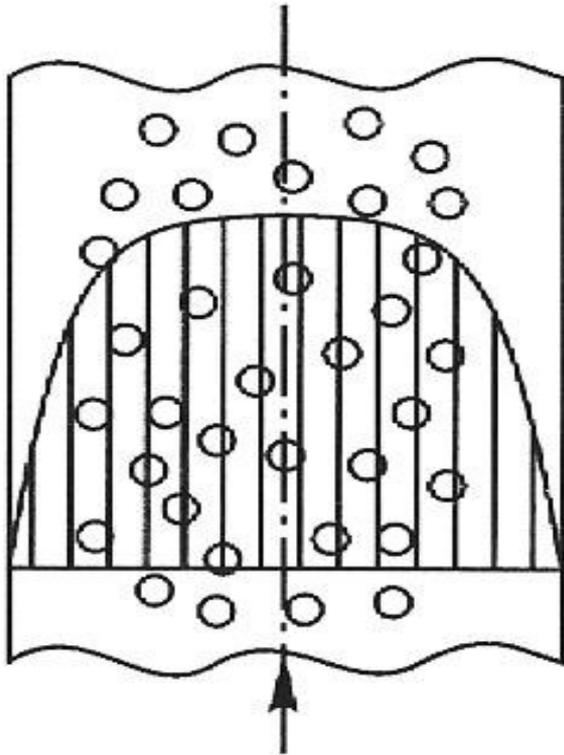
Кризисом теплообмена называют режимы ухудшения теплообмена, приводящие к резкому увеличению температуры металла.

Кризис теплообмена первого рода наблюдается при пузырьковом режиме течения: *жидкость вскипает на внутренней поверхности трубы, в результате чего вблизи внутренней стенки образуется паровой объем, что приводит к резкому снижению α_2 и резкому увеличению $t_{ст}$*

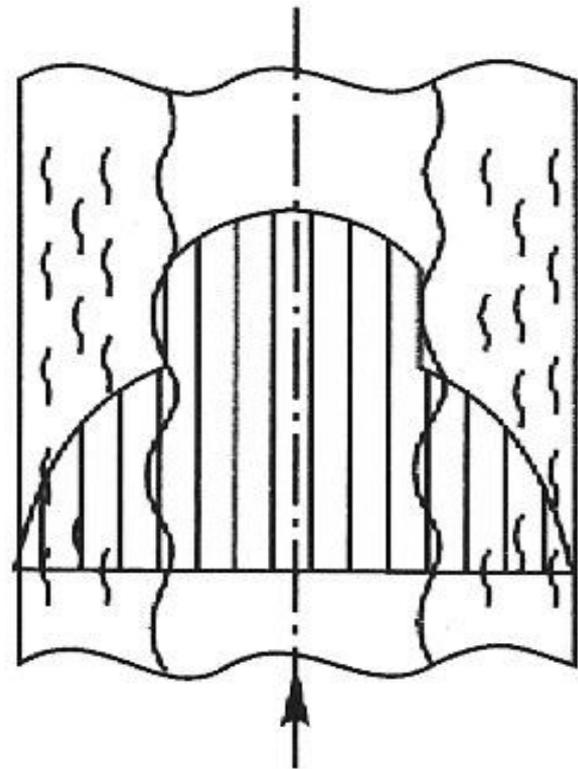
Кризис теплообмена второго рода наблюдается при дисперсно-кольцевом режиме течения

ЭПЮРА СКОРОСТЕЙ ПВС В ВЕРТИКАЛЬНЫХ ТРУБАХ

Пузырьковый режим



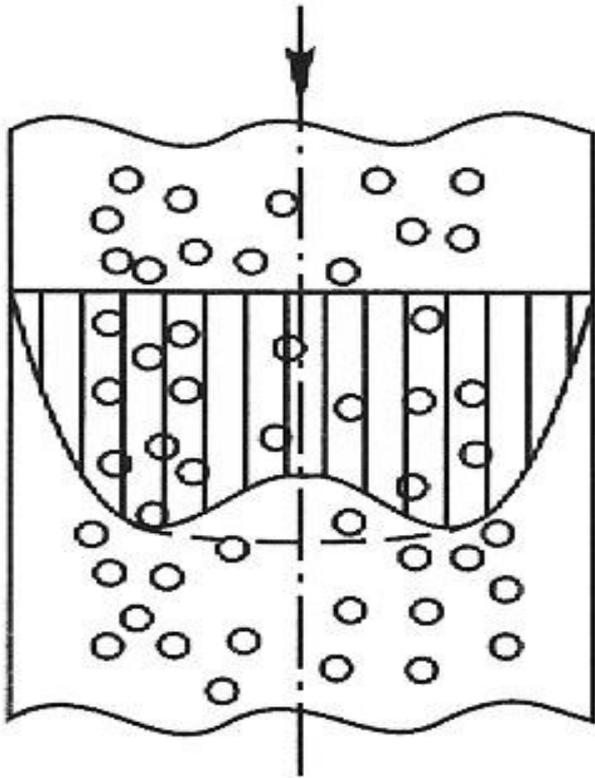
Кольцевой режим



Подъёмное движение

ЭПЮРА СКОРОСТЕЙ ПВС В ВЕРТИКАЛЬНЫХ ТРУБАХ

Опускное движение

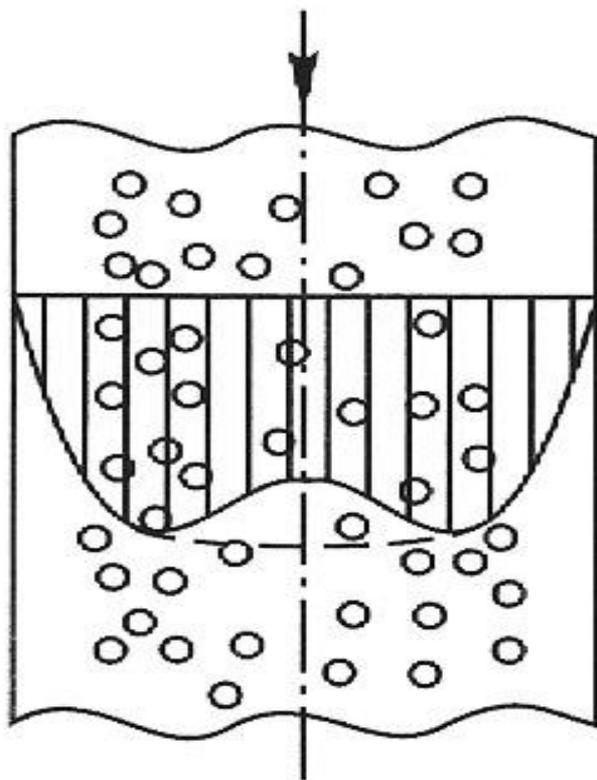


Паровая фаза стремится к оси трубы, при этом за счет силы Архимеда движение центральной части потока замедляется и профиль скорости искажается (сплошная линия). Паровые пузырьки, находящиеся в центре потока, под действием аэродинамической силы направляются от оси трубы в сторону возрастания скорости

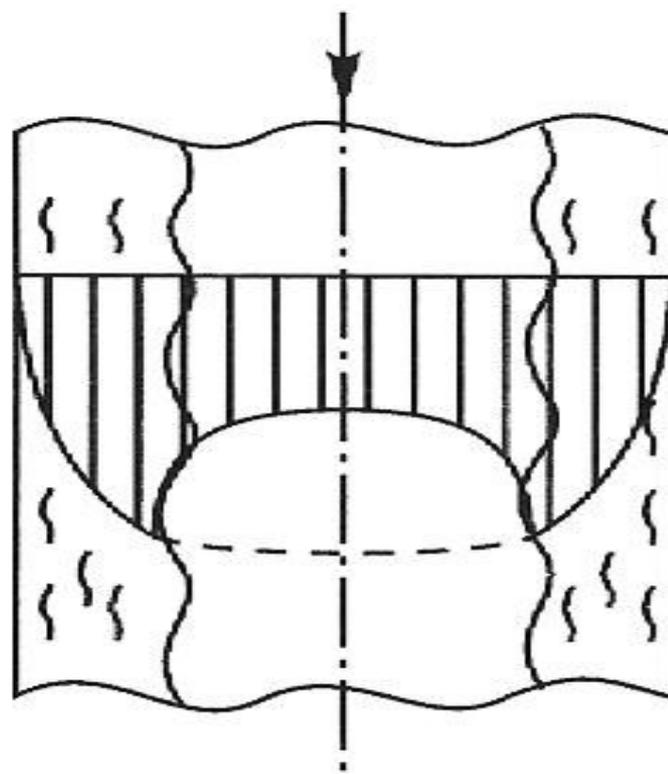
Пузырьковый режим

ЭПЮРА СКОРОСТЕЙ ПВС В ВЕРТИКАЛЬНЫХ ТРУБАХ

Опускное движение

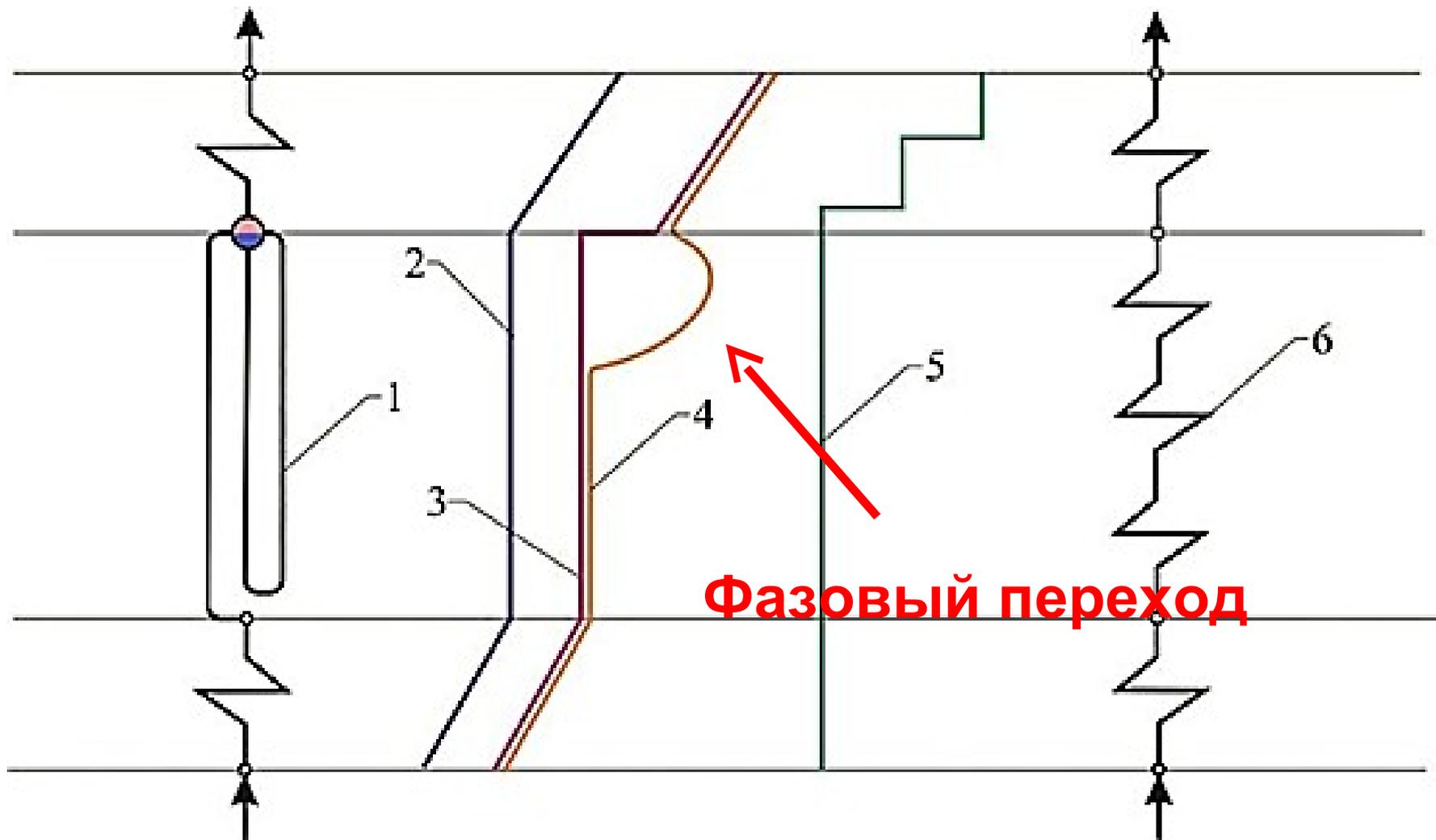


Пузырьковый режим



Кольцевой режим

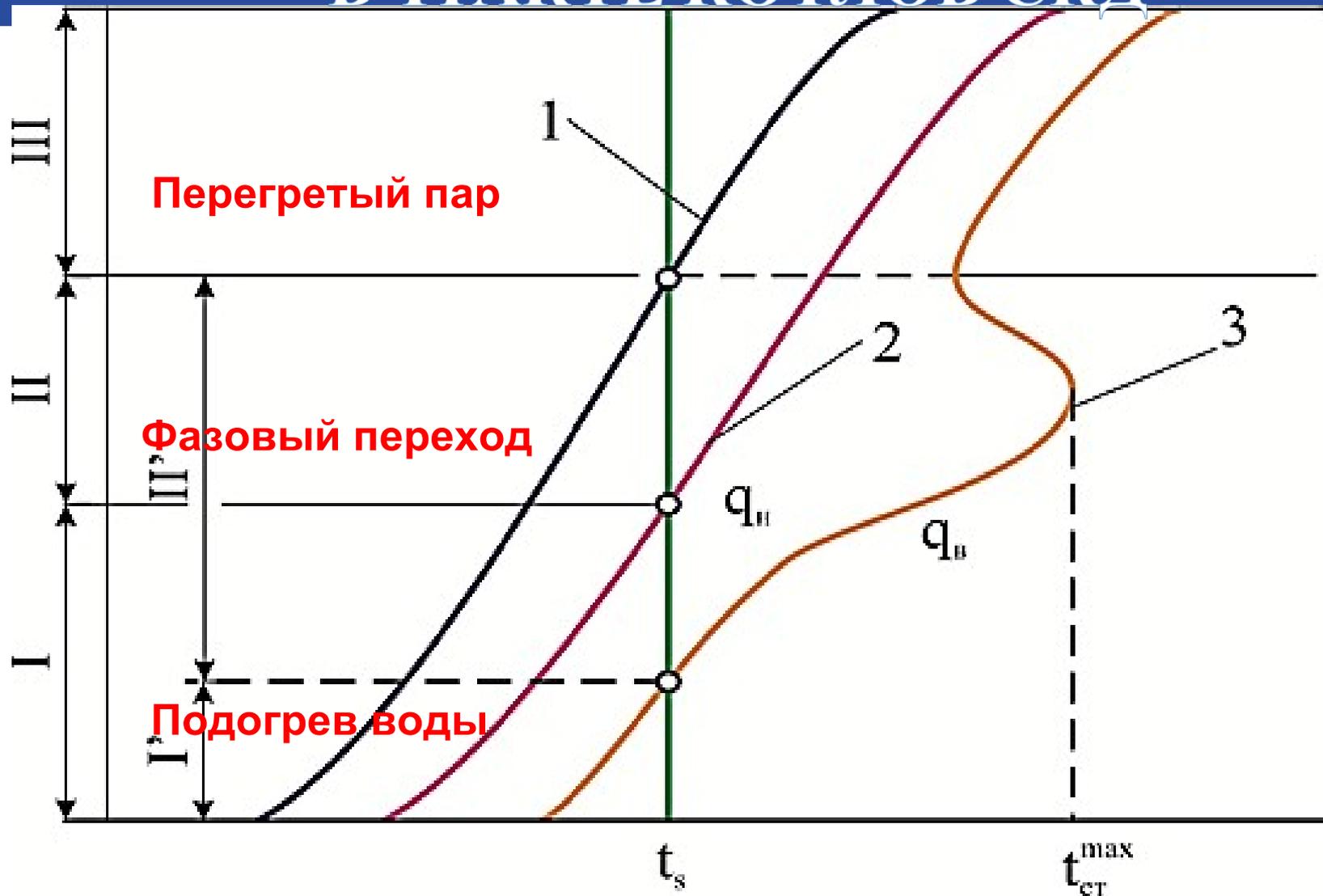
ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ПВС В ТРАКТЕ КОТЛОВ ДОКРИТИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ



2 – температура потока; 3 – температура стенки барабанного котла с ЕЦ;

4 – температура стенки прямоточного котла; 5 – допустимая температура металла

ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ПВС В ТРАКТЕ КОТЛОВ СКД



1 – температура потока; 2 – температура металла при низких тепловых потоках;
3 – температура металла при высоких тепловых потоках

РЕЖИМЫ ДВИЖЕНИЯ ПВС В ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ТРУБАХ

В горизонтальных трубах характерна неравномерность распределения пара и воды в сечении трубы: *более легкий пар концентрируется у верхней образующей трубы, а вода – у нижней.*

Степень асимметрии потока зависит от скорости, диаметра трубы, величины давления. Чем выше скорость, тем меньше асимметрия

РЕЖИМЫ ДВИЖЕНИЯ ПВС В ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ТРУБАХ

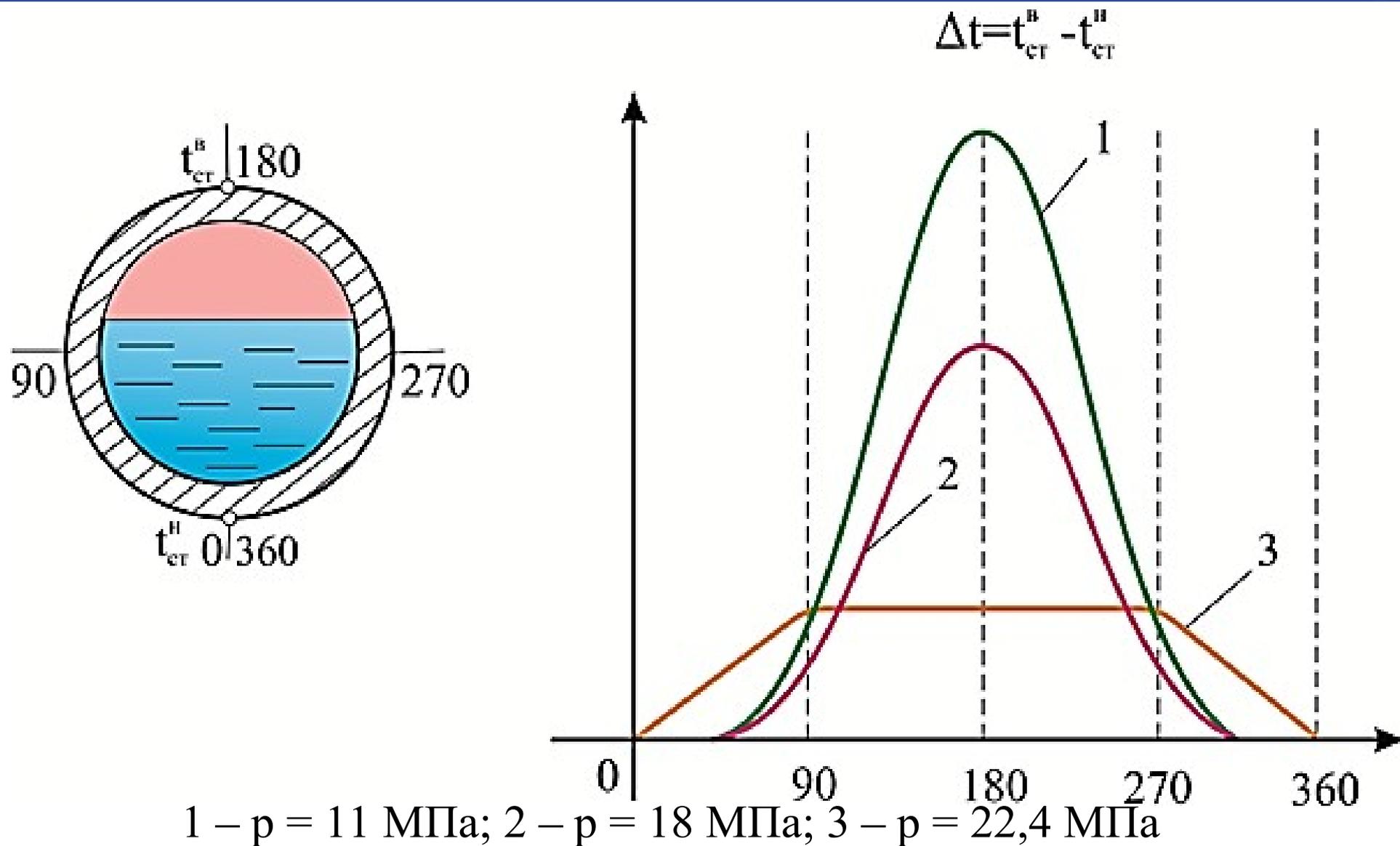
При скоростях входа воды в парогенерирующую трубу $w_0 > 1,0$ м/с и малом паросодержании образуются пузырьки пара, которые движутся вместе с водой *равномерно перемешанными*.

При $x > 50$ % у верхней образующей трубы скапливается поток пара, т. е. происходит *расслоение пароводяной смеси*.

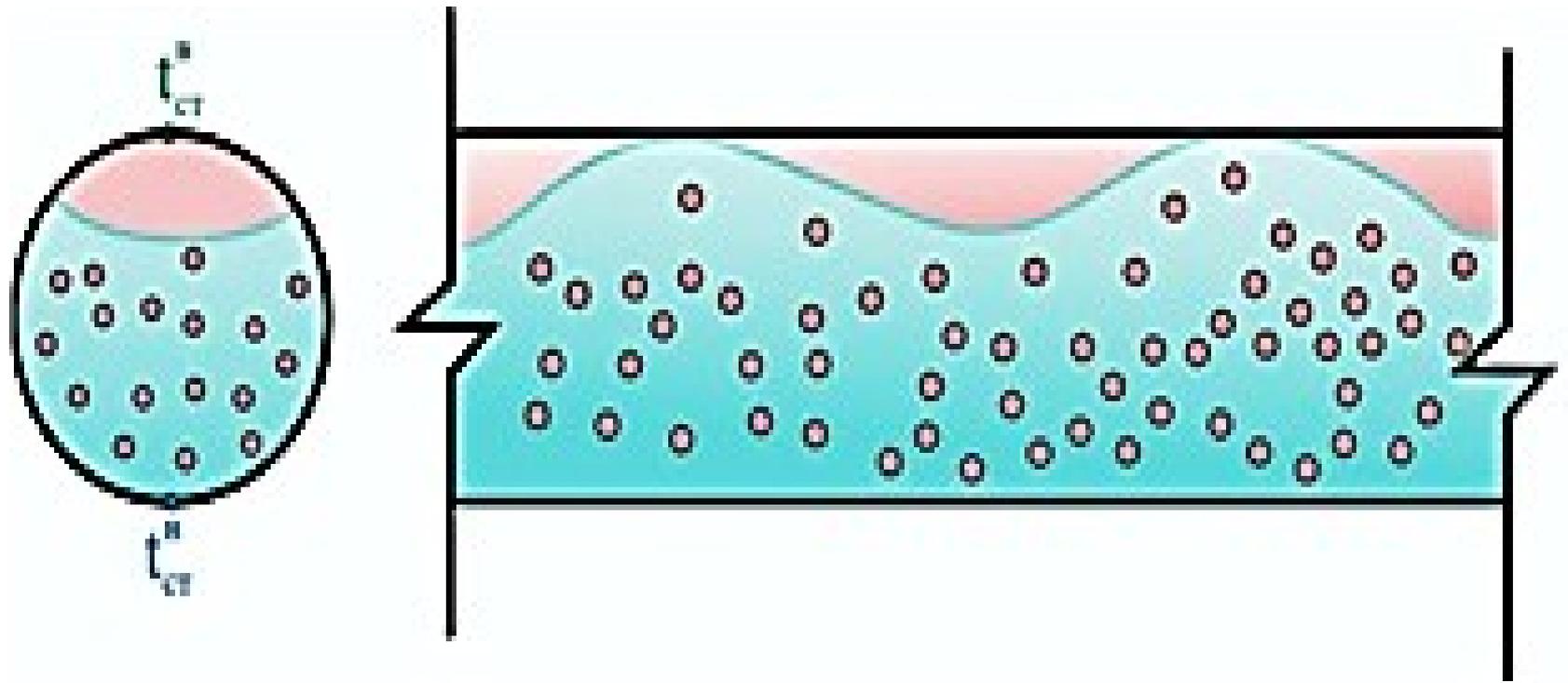
При большом паросодержании потока ПВС течение в горизонтальной трубе приближается к *осесимметричному*, наблюдаемому в вертикальных трубах при дисперсно-кольцевом режиме течения.

При малой скорости течения воды на входе в парогенерирующую трубу ($w_0 \leq 0,5$ м/с) асимметрия совместного движения воды и пара приводит к *оголению* значительных по радиусу участков трубы и расслоению пароводяной смеси

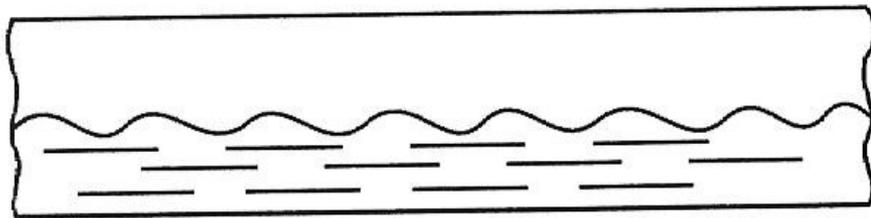
РЕЖИМЫ ДВИЖЕНИЯ ПВС В ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ТРУБАХ



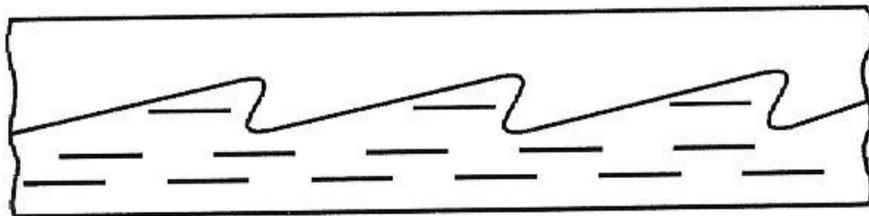
РЕЖИМЫ ДВИЖЕНИЯ ПВС В ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ТРУБАХ



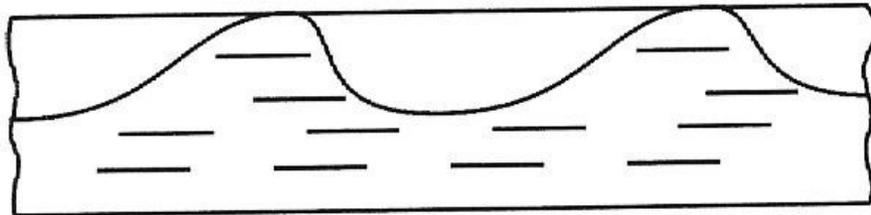
РЕЖИМЫ ДВИЖЕНИЯ ПВС В ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ТРУБАХ



Слоистый

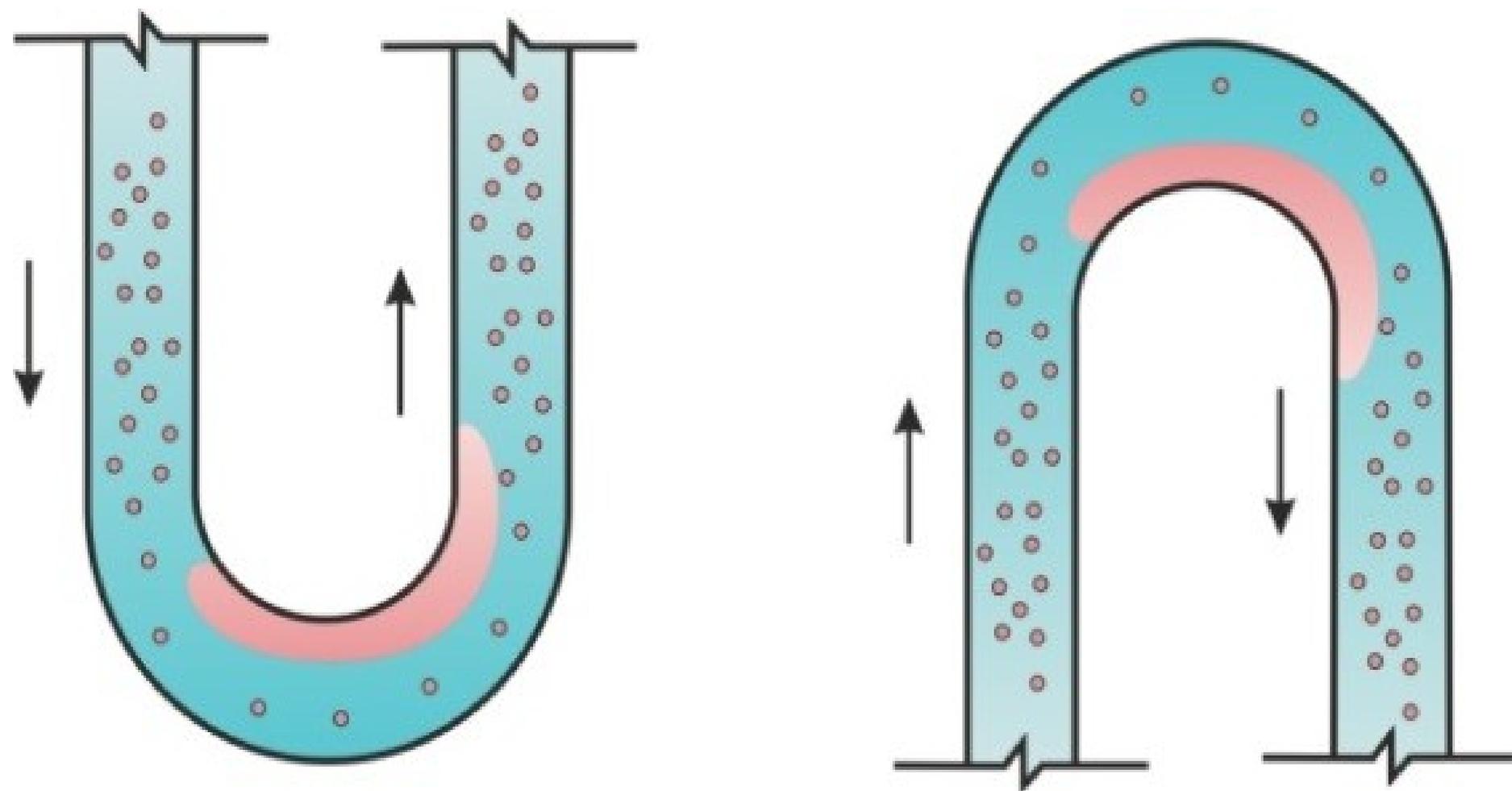


Волновой



Поршневой

РЕЖИМЫ ДВИЖЕНИЯ ПВС В ГИБАХ ИСПАРИТЕЛЬНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ НАГРЕВА



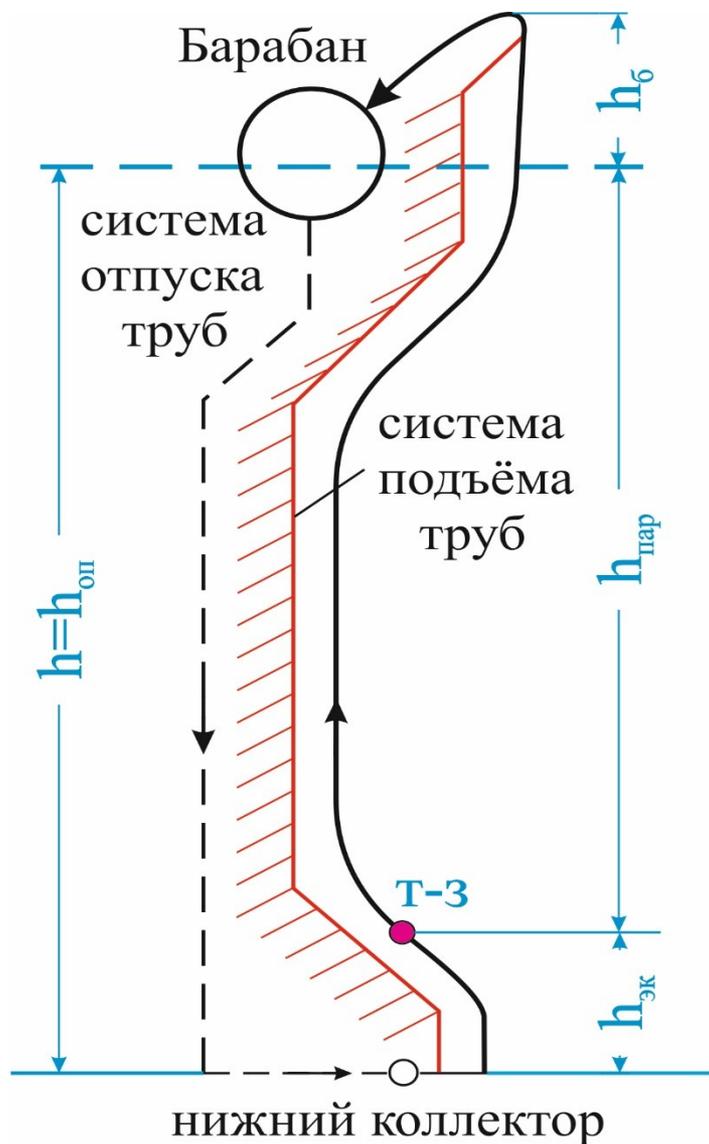
Возможно ухудшение омывания части трубы, связанное с центробежным эффектом забрасывания воды к наружной образующей трубы при повороте потока

РЕЖИМЫ ДВИЖЕНИЯ ПВС В ГИБАХ ИСПАРИТЕЛЬНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ НАГРЕВА

Этот эффект наиболее сильно проявляется в котлоагрегатах с давлением ниже критического, т. е. во всех барабанных котлах

В прямоточных котлах одновременное существование двух фаз невозможно. Принято полагать, что эффект расслоения в этом случае маловероятен

ГИДРОДИНАМИКА ПАРОВЫХ КОТЛОВ С ЕСТЕСТВЕННОЙ ЦИРКУЛЯЦИЕЙ



Движущий напор контура:

$$S_{дв} = h g (\rho' - \rho_{см})$$

Сопротивление трубной системы при установившемся состоянии:

$$S_{дв} = \Sigma \Delta p_{под} + \Sigma \Delta p_{оп}$$

Полезный напор определяется:

$$S_{пол} = S_{дв} - \Sigma \Delta p_{под} = \Sigma \Delta p_{оп}$$

ГИДРОДИНАМИКА ПАРОВЫХ КОТЛОВ С ЕСТЕСТВЕННОЙ ЦИРКУЛЯЦИЕЙ

Основное уравнение циркуляции:

$$S_{пол} = \Sigma \Delta p_{оп}$$

Полное сопротивление складывается из суммы *гидравлического, скоростного и нивелирного* сопротивлений (напоров):

$$\Delta p = \Delta p_{гидр} + \Delta p_{ск} \pm \Delta p_{нив} + \Delta p_h;$$

Для расчета контура циркуляции необходимо определить скорость циркуляции ПВС w_0 , при которой полезный напор

$$S_{пол} = \Sigma \Delta p_0$$

Благодарю за внимание!