

# Теплообмен при конденсации

Выполнила студентка  
очного отделения  
2 курса 26 группы  
Захарова М.Ю.

# Основные физические закономерности процесса

## конденсации

**Конденсация** представляет собой процесс перехода пара (газа) в жидкое состояние.

При конденсации пара происходит выделение тепла фазового перехода.

Конденсация возможна только в так называемой докритической области. Потому что при закритических состояниях жидкая и газообразная фаза неотличимы.

Для воды:

$T_{кр} = 374,5 \text{ C}$

$P_{кр} = 221,29 \cdot 10^5 \text{ Па}$

Конденсация возможна как в объеме пара (парогазовой смеси), так и на поверхности твердого тела или жидкости, с которыми соприкасается пар (парогазовая смесь).

В энергетике чаще всего приходится иметь дело с конденсацией пара в жидкое состояние на охлажденных поверхностях теплообмена.

Для возникновения процесса конденсации на поверхности твердого тела необходимо выполнение такого условия: температура поверхности стенки ( $t_c$ ) должна быть меньше температуры насыщения при данном давлении ( $t_n$ ):  $t_c < t_n$ ;  $t_n = f(p)$ .

При конденсации из парогазовой смеси температура насыщения определяется парциальным давлением.

Условие ( $t_c < t_n$ ) в равной степени относится как к насыщенному, так и к перегретому пару.

Процесс теплообмена при конденсации непосредственно связан с переносом массы вещества.

Различают два вида конденсации пара на твердой поверхности: плёночную и капельную .

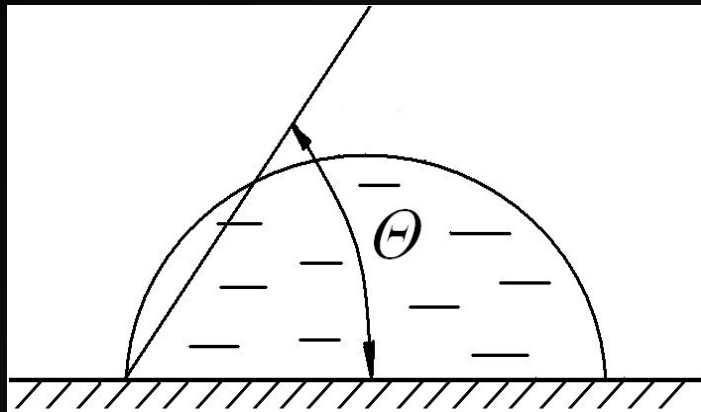
Конденсация при которой жидкая конденсированная фаза образуется на поверхности в виде сплошной устойчивой пленки называется плёночной.

Конденсация при которой происходит образование капель жидкости, называется капельной.

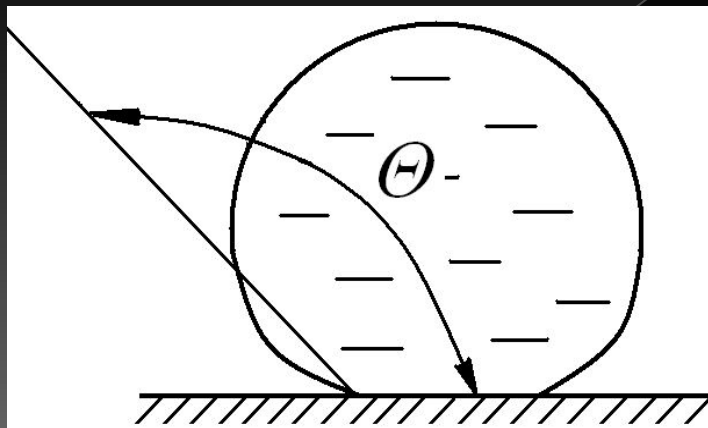
Плёночная конденсация происходит, когда конденсат смачивает поверхность теплообмена, капельная конденсация - когда не смачивает.

Эффект смачивания или не смачивания жидкостью поверхности связан с действием поверхностных сил. А собственно смачивающая способность характеризуется краевым углом или углом смачивания .

**Краевой угол**- это угол, отсчитываемый через область занятую жидкостью, между касательной к поверхности твердого тела и жидкости в точке соприкосновения их границ.



Если  $\theta < \pi/2$ , то жидкость смачивает поверхность. При  $\theta = 0$  наблюдается полное смачивание поверхности жидкостью. Например, керосин по металлу.



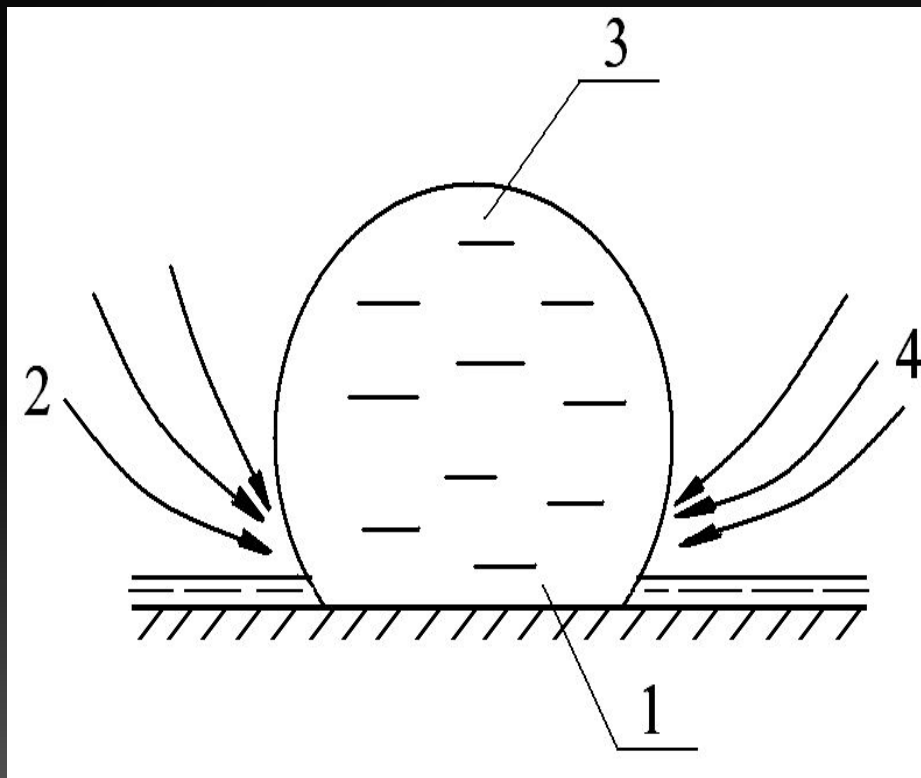
Если  $\theta > \pi/2$ , то жидкость не смачивает твердую поверхность. При  $\theta = \pi$  наблюдается полное несмачивание жидкостью поверхности. Например, капли ртути на стекле.

Опыт показывает, что при установившейся работе конденсационных устройств, как правило, имеет место пленочная конденсация. Капельная конденсация наблюдается при пуске теплообменного аппарата, когда на поверхности стенок имеют место различные, в том числе, и масляные загрязнения. Капельная конденсация происходит также при конденсации ртутного пара и некоторых других случаях. Капельная конденсация может быть вызвана искусственно с помощью специальных веществ, называемых лиофобизаторами (в случае воды - гидробизаторами). Эти вещества наносятся на поверхности теплообмена или вводятся в пар (либо в питательную воду).

Интенсивность теплоотдачи при пленочной конденсации, как правило, существенно ниже, чем при капельной. Обычно в 5-10 раз ниже.

Это объясняется тем, что пленка конденсата является большим термическим сопротивлением передаче тепла фазового перехода от поверхности конденсации к стенке. При капельной конденсации в силу разрыва пленки это сопротивление гораздо меньше.

# Схема процесса капельной конденсации:



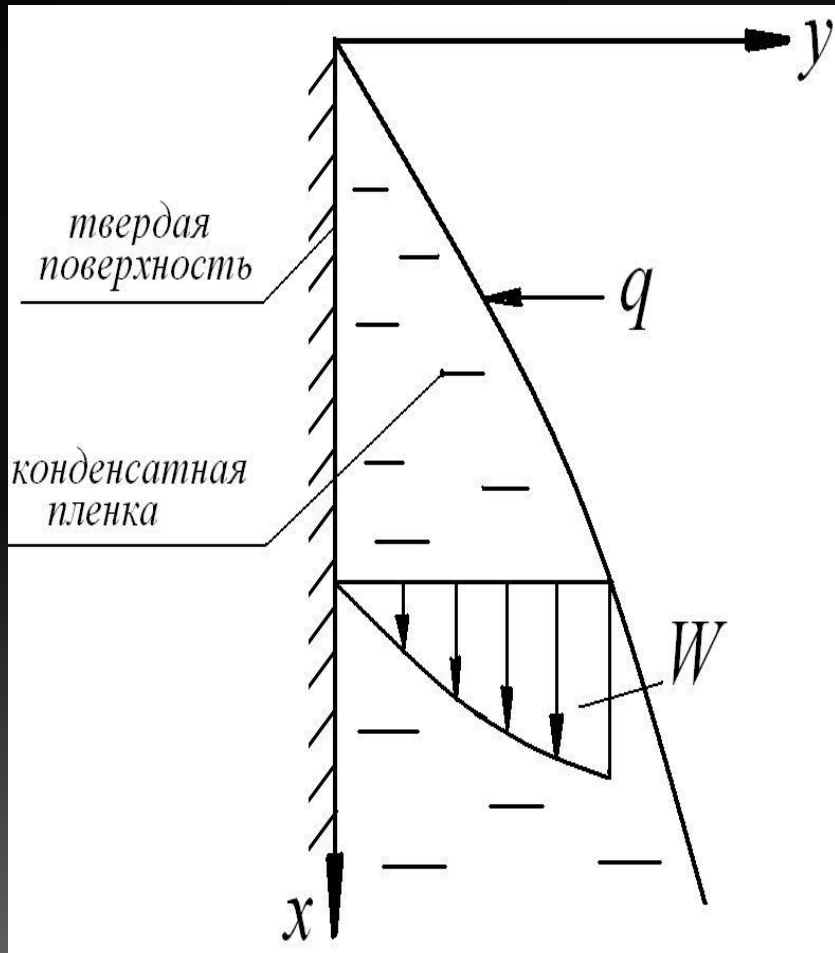
1 – твердая поверхность;

2 – микропленка конденсата;

3 – капля конденсата;

4 – основной поток конденсирующего пара.

# Схема процесса пленочной конденсации:



$q$  - тепловой поток, отводимый к стенке;

$W$  - средняя скорость поступательного движения пара к стенке.



В случае конденсации паров жидких металлов интенсивность теплоотдачи при капельной и пленочной конденсации практически одинаковы, т.к. пленка конденсата имеет в этом случае малое термическое сопротивление.

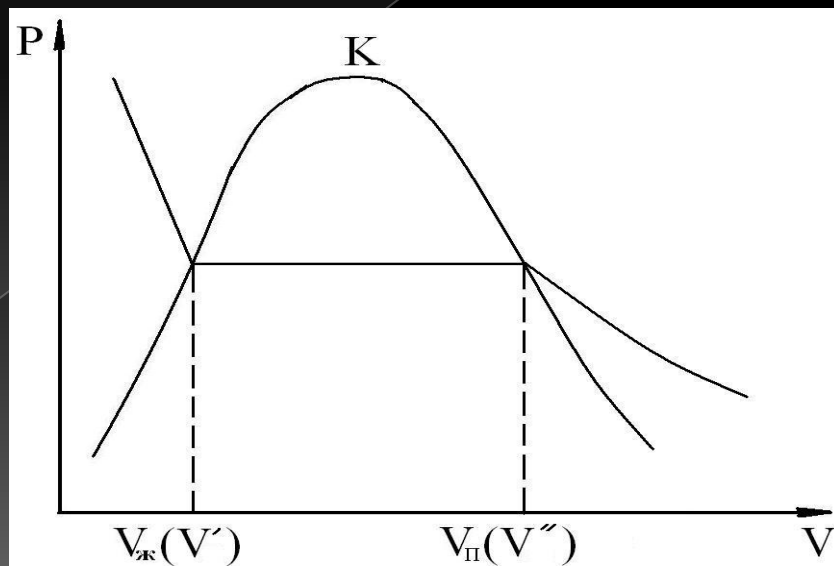
Сложный процесс пленочной конденсации пара на охлаждаемой поверхности твердого тела можно условно разделить на такие последовательно протекающие процессы:

- 1) Подвод пара к поверхности раздела фаз;
- 2) Собственно процесс конденсации;
- 3) Отвод выделившейся теплоты конденсации к стенке.

Подвод пара к поверхности раздела фаз осуществляется как на молекулярном, так и на молярном уровне. Подвод пара на молярном уровне обусловлен тем, что удельный объем пара больше, чем удельный объем жидкости.

Поскольку  $V_{п} > V_{ж}$ , то при конденсации пара освобождается некоторый объем, который сразу же заполняется новыми порциями пара, поступающими из основной массы.

Таким образом, имеет место, направленное движение пара в сторону стенки. Скорость движения пара можно выразить следующим образом:

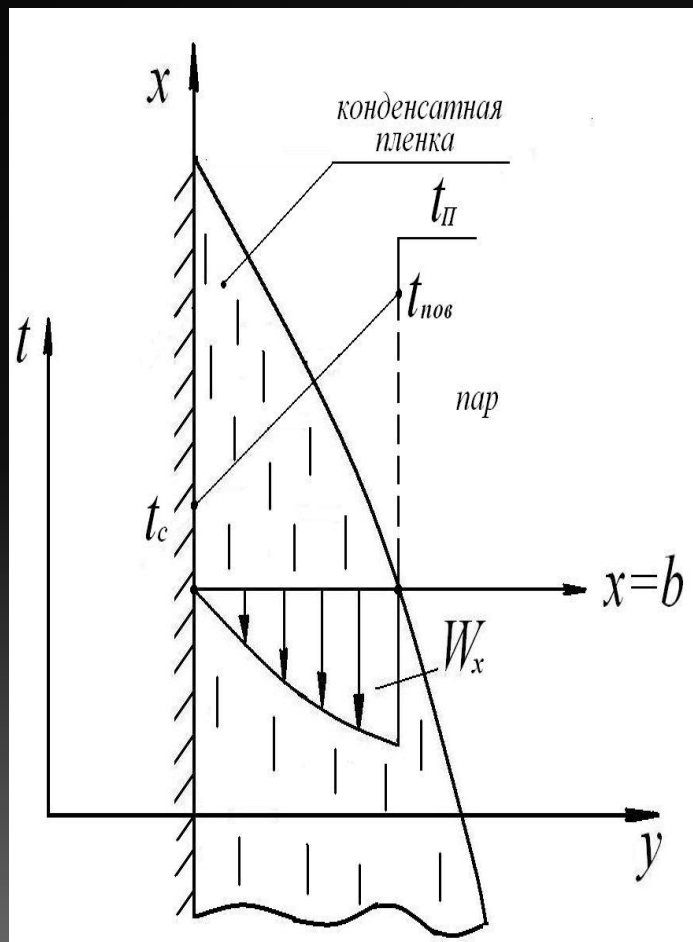


На поверхности раздела фаз протекает два противоположно направленных процесса. С одной стороны имеет место поглощение (захватывание) конденсатной пленкой соприкасающихся с ней молекул пара. С другой стороны, часть молекул отражаются от поверхности пленки и возвращаются в пар. Это явление характеризуется коэффициентом конденсации.

**Коэффициент конденсации** - отношение количества молекул пара, захваченных конденсатной пленкой, к общему числу молекул пара, достигающих поверхности раздела фаз.

Коэффициент конденсации существенным образом зависит от давления пара. Чем больше давление пара, тем больше коэффициент конденсации.

# Характер изменения температуры в объеме пара и по толщине конденсатной пленки



$t_n$  - температура в объеме пара;

$t_{пов}$  - температура на поверхности раздела фаз

$t_c$  - температура поверхности твердой стенки

$W_x$  - средняя скорость поступательного движения пара к стенке.

Как видно на рисунке, на поверхности раздела фаз имеет место межфазный скачок температур.

Данный скачок наблюдается непосредственно у поверхности раздела фаз.

Наличие межфазного скачка температур обусловлено двумя причинами:

1) скорость поступления пара к поверхности раздела фаз является конечной;

2) не все молекулы пара поглощаются жидкостью. Часть из них, соприкасаясь с поверхностью жидкой фазы, снова возвращаются в объем пара. Эти молекулы при соприкосновении с поверхностью жидкости отдают ей часть своей кинетической энергии, и поэтому, возвращаясь в объем пара, имеет пониженную кинетическую энергию по сравнению с энергией молекул объема пара, и соответственно понижается температура пара вблизи поверхности раздела фаз.

Отвод теплоты, выделившейся на поверхности пленки, к твердой поверхности зависит от характера течения пленки конденсата, от того является это течение. При ламинарном режиме течения отвод теплоты к стенке осуществляется путем теплопроводности поперек пленки конденсата. При турбулентном течении пленки дополнительно перенос тепла осуществляется и за счет конвекции пленки, т.е. здесь необходимо учитывать турбулентный перенос тепла.

Переход от ламинарного режима пленки к турбулентному определяется по величине критерия Рейнольдса пленки:

$$Re = W * \delta / \nu$$

**W** - средняя скорость течения пленки в данном сечении;

**δ** - толщина конденсатной пленки в этом сечении;

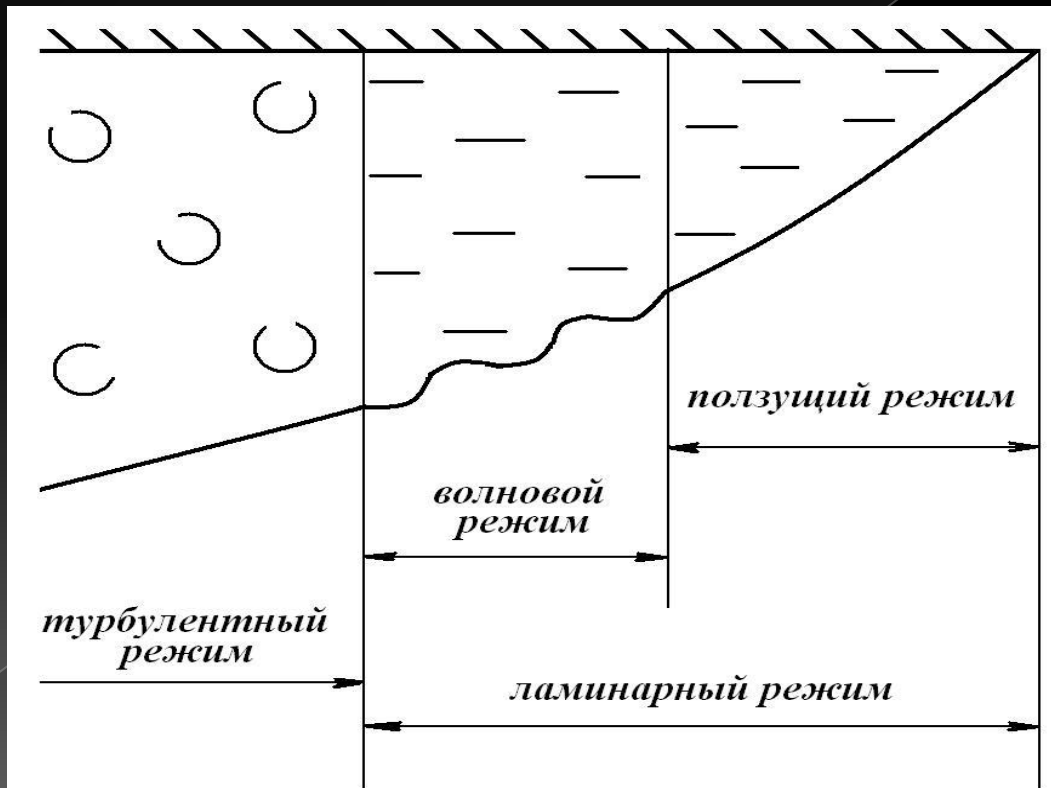
**ν** - коэффициент кинематической вязкости в жидкой фазе.

Для случая конденсации практически неподвижного пара на вертикальной поверхности

**Re<sub>кр</sub> = 400.**

Ламинарное течение пленки может сопровождаться волновым движением. На участке развития волн происходит интенсификация теплообмена за счет конвективного перемешивания и увеличения межфазной поверхности.

Согласно аналитическому решению, полученному П.Л. Капицей при волновом движении пленки, коэффициент теплоотдачи увеличивается на 21%.



**Спасибо за внимание!**