



- Понятия «газ» и «пар» идентичны, т.к. обозначают одно и то же агрегатное состояние вещества.
- Однако в технике термин «газа» относят к веществам, имеющим низкие критические температуры и находящиеся при обычных условиях ($p=100\text{кПа}$ и $t=t_{\text{окр.ср.}}$) в газообразном состоянии (воздух, водород, кислород, азот, гелий, оксид углерода и т.п.)
- Термин «пар» (водяной, аммиачный, фреоновый и т. п.) применяют для обозначения газообразной фазы веществ, находящихся при обычных условиях в состоянии жидкости или в двухфазном состоянии «жидкость-пар» (на линии насыщения).
- **Необходимо четко различать, что отличия здесь только терминологические, т.к. двухфазное состояние характерно и выше перечисленным газам**

Отличия реальных и идеальных газов

- Для реальных газов уравнения идеальных газов подходят только при $p \rightarrow 0$. В этом случае плотность газа мала и его свойства приближаются к свойствам идеального газа.
- С увеличением давления реальные газы не подчиняются законам идеальных газов.
- Реальным газам характерно как жидкое так и газообразное состояние. Переход из одного состояния в другое происходит скачкообразно, само же состояние «жидкость» или «пар» характеризуется монотонным изменением (чаще всего линейным).

- Пары бывают *насыщенными* и *перегретыми*.
- *Насыщенным* называют пар, находящийся в равновесии со своей жидкостью, при котором над поверхностью жидкости приток и убыль молекул пара компенсируют друг друга.
- Состояние насыщенного пара характеризуется вполне определенным сочетанием *температуры насыщения* T_s и *давления насыщения* p_s , которое называют также *давлением* или *упругостью* насыщенного пара.
- Давление насыщения возрастает с увеличением температуры по экспоненциальному закону, т.е. очень сильно.
- Для воды, например, температуре насыщения $T_s = 298,15 \text{ К}$ соответствует $p_s = 3,166 \cdot 10^3 \text{ Па}$, а температуре насыщения $T_s = 343,15 \text{ К}$ отвечает давление насыщенного пара, равное $3,166 \cdot 10^4 \text{ Па}$, т.е. увеличение температуры на 45 К приводит к росту p_s на целый порядок.

- В природе и технике водяной пар получается либо путем испарения с поверхности жидкости, либо в результате парообразования во всем объеме жидкости при ее кипении
- В первом случае давление насыщенного пара обычно намного меньше давления окружающей среды, а над поверхностью жидкости кроме ее собственного пара находится посторонний газ — воздух. В этих условиях пар распространяется в окружающем пространстве путем диффузии, т.е. довольно медленно.
Так как новые порции жидкости испаряются лишь по мере удаления от поверхности ранее образовавшихся паровых молекул, то при неизменной температуре скорость испарения оказывается, зависящей от интенсивности движения воздуха вблизи поверхности жидкости.
- Нагревая жидкость, можно повысить ее температуру настолько, что интенсивное образование пара будет происходить не только на ее открытой поверхности, но и по всему объему. В ходе кипения у обогреваемой стенки и в толще воды образуются пузырьки пара. Центрами зарождения паровых пузырьков в нагретой воде являются взвешенные в ней мельчайшие твердые частицы, пузырьки воздуха и отдельные неровности стенки.

- Для возникновения кипения температура жидкости должна превышать температуру насыщения при давлении окружающей среды. Это связано с тем, что давление пара внутри пузыря определяется температурой жидкости.
- До достижения температуры кипения росту паровых пузырей и выходу из них пара на поверхности жидкости препятствует внешнее давление.
- Наибольший перегрев жидкости относительно температуры насыщения имеет место у обогреваемой стенки. На поверхности жидкости ее температура отличается от температуры насыщения лишь на несколько десятых градуса, т.е. практически совпадает с ней.

- От начала кипения до полного его завершения, т.е. до стопроцентного выкипания жидкости, к ней надо подвести строго определенное количество теплоты.
- Моменту окончания парообразования при кипении соответствует состояние *сухого насыщенного пара*.
- Количество теплоты, которое необходимо сообщить при постоянном давлении 1 кг нагретой до температуры кипения жидкости для ее превращения в сухой насыщенный пар, называется *скрытой теплотой парообразования* или просто *теплотой парообразования*.

- Эпитет «скрытая» имеет целью подчеркнуть, что парообразование при кипении от начала и до конца идет *при постоянной температуре, т.е. подвод теплоты к системе не вызывает изменения ее температуры.* .
- В обратном процессе, который называется *конденсацией*, сухой насыщенный пар вначале становится *влажным*, а затем полностью превращается в жидкость. Как и парообразование при кипении, конденсация происходит при неизменной температуре, значение которой определяется величиной внешнего давления.

- Для превращения 1 кг сухого насыщенного пара в жидкость (кипящую) того же давления - от него надо отвести теплоту, равную теплоте парообразования.
- Состояние сухого насыщенного пара неустойчиво. При незначительном отводе от него теплоты он становится влажным, а при теплоподводе - перегретым.
- *Пар называют перегретым, если при заданном давлении он имеет более высокую температуру, чем температура насыщения.*

- Чем больше *степень перегрева*, т.е. разница между действительной температурой пара и температурой насыщения ($T_{\text{пара}} - T_s$), соответствующей его фактическому давлению, тем больше по своим термическим свойствам перегретый пар приближается к идеальному газу.
- Водяной пар, содержащийся в реальном (влажном) воздухе, с приемлемой точностью следует уравнению состояния идеального газа.
- Это же относится к водяному пару, который образуется при сжигании топлив в камерах сгорания тепловых двигателей.

- При приближении к состоянию насыщения все больше проявляется влияние конечного объема молекул.
- Вблизи верхней пограничной кривой существенную роль начинает играть ассоциация молекул пара в комплексы. В этих условиях связь между параметрами состояния дается лишь довольно сложными уравнениями состояния с вириальными коэффициентами.
- В качестве примера приведем наиболее известное из них уравнение Вукаловича Новикова, учитывающее ассоциацию молекул водяного пара в комплексы, состоящие из двух и трех обычных молекул, которое в СИ имеет вид:

$$pv = 461,5T - \frac{1}{v} \left\{ 619,872 - 0,4154T + 8,794 \cdot 10^9 T^{-2,468} + \right.$$

$$\left. + \frac{1}{v} \left[7,915 \cdot 10^6 T^{-2,468} - 6,704 \cdot 10^{17} T^{-5,936} \left(1 - 21,5T^{-0,5} \right) \left(1 + \frac{2,7 \cdot 10^{-3}}{v} \right) \right] \right\}$$

- В окрестностях верхней пограничной кривой теплоемкость перегретого пара c_p является функцией не только температуры, но и давления. При этом уменьшение температуры и повышение давления приводит к росту c_p (в окрестностях пограничных кривых).
- С увеличением давления максимумы уменьшаются и смещаются в область более высоких температур. Аналитическое описание зависимости теплоемкости c_p водяного пара от параметров оказывается весьма громоздким.
- Точные расчеты процессов изменения состояния водяного пара выполняются с использованием сложных расчетных формул или специальных таблиц. Если высокая точность не требуется, то расчеты c_p ведут с применением sh-диаграммы

Процесс производства пара

- идет при *постоянном давлении* и включает в себя три последовательных этапа:
- **подогрев** питательной воды до температуры насыщения при заданном давлении;
- **парообразование**, т.е. превращение кипящей жидкости в сухой насыщенный пар;
- **перегрев** пара до необходимой температуры.

- условимся помечать параметры :
- кипящей жидкости одним штрихом (m^I, h^I, s^I) ,
- сухого насыщенного пара - двумя штрихами (m^{II}, h^{II}) ,
- влажного пара снабжать индексом «х» (m_x, h_x) ,
- перегретого пара оставлять без индексов и штрихов (m, h) .

Степень сухости насыщенного пара X

- влажный пар представляет собой механическую смесь сухого насыщенного пара (массой m'') с капельками взвешенной в нем жидкости (массой m')

$$X = \frac{m''}{m' + m''}$$

- В процессе парообразования, который идет одновременно при $p=p_s=\text{const}$ и $T=T_s=\text{const}$.
- справедливо равенство, где r - теплота парообразования.
- Величины ρ и ψ называют соответственно *внутренней* и *внешней* теплотой парообразования.
- Внутренняя теплота парообразования расходуется на преодоление сил межмолекулярного сцепления, свойственного жидкости, или, как говорят, на *работу дисгрегации*.
- Внешняя теплота парообразования расходуется на совершение работы, связанное с сильным увеличением удельного объема при переходе жидкости в пар. Внешняя теплота парообразования ψ изменяется с давлением (и температурой). При приближении к критической точке ψ уменьшается

$$r = h'' - h'$$

$$h' = u' + pv'$$

$$h'' = u'' + pv''$$

$$u'' - u' = \rho$$

$$p(v'' - v') = \psi$$

$$r = \rho + \psi$$