СВОЙСТВА НАСЫЩЕННОГО ПАРА

Что это такое и как им пользоваться

Численные значения параметров теплоты, а также взаимосвязь между температурой и давлением, приведенные в настоящем Руководстве, взять из Таблицы "Свойства насыщенного пара".

1	2	3	4	5	6	7
۸.۵	T	V 6		T	Скрытая	Полная
Абсолют.	Температ	Уд.объем	Плотность	Теплота	теплота	теплота
Давление	пара	пара м ³ /кг	пара	жидкости	парообра-	пара
бар	°C	м /кг	кг/м ³	ккал/кг	зования	ккал/кг
P	t	V	7	q	ккал/кг r	X=q+r
0,010	7,0	129,20	0,007739	7,0	593,5	600,5
0,020	17,5	67,01	0,01492	17,5	587,6	605,1
0,030	24,1	45,67	0,02190	24,1	583,9	608,0
0,040	29,0	34,80	0,02873	28,9	581,2	610,1
0,050	32,9	28,19	0,03547	32,9	578,9	611,8
0,060	36,2	23,47	0,04212	36,2	577,0	613,2
0,070	39,0	20,53	0,04871	39,0	575,5	614,5
0,080	41,5	18,10	0,05523	41,5	574,0	615,5
0,090	43,8	16,20	0,06171	43,7	572,8	616,5
0,10	45,8	14,67	0,06814	45,8	571,8	617,6
0,20	60,1	7,650	0,1307	60,1	563,3	623,4
0,30	69,1	5,229	0,1912	69,1	558,0	627.1
0,40	75,9	3,993	0,2504	75,8	554,0	629,8
0,50	81,3	3,240	0,3086	81,3	550,7	632,0
0,60	86,0	2,732	0,3661	85,9	547,9	633,8
0,70	90,0	2,365	0,4229	89,9	545,5	635,4
0,80	93,5	2,087	0,4792	93,5	543,2	636,7
0,90	96,7	1,869	0,5350	96,7	541,2	637,9
1,00	99,6	1,694	0,5904	99,7	539,3	639,0
1,5	111,4	1,159	0,8628	111,5	531,8	643,3
2,0	120,2	0,8854	1,129	120,5	525,9	646,4
2,5	127,4	0,7184	1,392	127,8	521,0	648,8
3,0	133,5	0,6056	1,651	134,1	516,7	650,8
3,5	138,9	0,5240	1,908	139,5	512,9	652,4
4,0	143,6	0,4622	2,163	144,4	509,5	653,9
4,5	147,9	0,4138	2,417	148,8	506,3	655,1
5,0	151,8	0,3747	2,669	152,8	503,4	656,2
6,0	158,8	0,3155	3,170	160,1	498,0	658,1
7,0	164,9	0,2727	3,667	166,4	493,3	659,7
8,0	170,4	0,2403	4,162	172,2	488,8	661,0
9,0	175,4	0,2148	4,655	177,3	484,8	662,1
10	179,9	0,1943	5,147	182,1	481,0	663,1
11	184,1	0,1774	5,637	186,5	477,4	663,9
12	188,0	0,1632	6,127	190,7	473,9	664,6
13	191,6	0,1511	6,617	194,5	470,8	665,3
14	195,0	0,1407	7,106	198,2	467,7	665,9
15	198,3	0,1317	7,596	201,7	464,7	666,4
16	201,4	0,1237	8,085	205,1	461,7	666,8
17	204,3	0,1166	8,575	208,2	459,0	667,2
18	207,1	0,1103	9,065	211,2	456,3	667,5
19	209,8	0,1047	9,555	214,2	453,6	667,8
20	212,4	0,09954	10,05	217,0	451,1	668,1
25	223,9	0,07991	12,51	229,7	439,3	669,0
30	233,8	0,06663	15,01	240,8	428,5	669,3
40	250,3	0,04975	20,10	259,7	409,1	668,8
50	263,9	0,03943	25,36	275,7	391,7	667,4
60	275,6	0,03244	30,83	289,8	375,4	665,2
70	285,8	0,02737	36,53	302,7	359,7	662,4
80	295,0	0,02353	42,51	314,6	344,6	659,2
90	303,3	0,02050	48,79	325,7	329,8	655,5
100	311,0	0,01804	55,43	336,3	315,2	651,5
110	318,1	0,01601	62,48	346,5	300,6	647,1
120	324,7	0,01428	70,01	356,3	286,0	642,3
130	330,8	0,01280	78,14	365,9	271,1	637,0
140	336,6	0,01150	86,99	375,4	255,7	631,1
150	342,1	0,01034	96,71	384,7	239,9	624,6

Определение применяемых терминов

Насыщенный пар

Чистый пар, температура которого соответствует температуре кипения воды при данном давлении.

Абсолютное давление

Абсолютное давления пара в барах.

Зависимость между температурой и давлением

Каждому значению давления чистого пара соответствует определенная температура. Например: температура чистого пара при давлении 10 бар всегда ровна 180°С.

Удельный объём пара

Масса пара, приходящаяся на единицу его объёма, кг/м3.

Теплота кипящей жидкости

Количество тепла, которое требуется чтобы повысить температуру килограмма воды от 0°С до точки кипения при давлении и температуре, указанных в Таблице. Выражается в ккал/кг.

Скрытая температура парообразования

Количество тепла в ккал/кг, необходимое для превращения одного килограмма воды при температуре кипения в килограмм пара. При конденсации одного килограмма пара в килограмм воды высвобождает такое же самое количество теплоты. Как видно из Таблицы, для каждого сочетания давления и температуры величина этой теплоты будет разной.

Полная теплота насыщенного пара

Сумма теплоты кипящей жидкости и срытой теплоты парообразования в ккал/кг. Она соответствует полной теплоты, содержащейся в паре с температурой выше 0°С.

Как пользоваться таблицей

Кроме определения зависимости между давлением и температурой пара Вы, также, можете вычислить количество пара, которое превратиться в конденсат в любом теплообменнике, если известно передаваемое им количество теплоты в ккал. И наоборот, Таблицу можно использовать для определения количества переданной теплообменником теплоты если известен расход образующегося конденсата.

1 ккал = 4,186 кдж

1 кдж = 0,24 ккал

1 бар = 0,102 МПа

ПАР ВТОРИЧНОГО ВСКИПАНИЯ

Что такое пар вторичного вскипания:

Когда горячий конденсат или вода из котла ,находящиеся под определенным давлением, выпускают в пространство, где действует меньшее давление, часть жидкости вскипает и превращается в так называемый пар вторичного вскипания.

Почему он имеет важное значение:

Этот пар важен потому, что в нем содержится определенное количество теплоты, которая может быть использована для повышения экономичности работы предприятия, т.к. в противном случае она будет безвозвратно потеряна. Однако, чтобы получить пользу от пара вторичного вскипания, нужно знать как в каком количестве он образуется к конкретных условиях.

Как он образуется:

Если воду нагревать при атмосферном давлении, ее температура будет повышаться пока не достигнет 100°С – самой высокой температуры, при которой вода может существовать при данном давлении в виде жидкости. Дальнейшее добавление теплоты не повышает температуру воды, а превращает ее в пар.

Теплота, поглощенная водой в процессе повышения температуры до точки кипения, называется физической теплотой или тепло-содержанием. Теплота, не обходимая для превращения воды в пар при температуре точки кипения, называется скрытой теплотой парообразования. Единицей теплоты, в общем случае, является килокалория (ккал), которая равна количеству тепла, необходимому для повышения температуры одного килограмма воды на 1°С при атмосферном давлении.

Однако, если воду нагревать при давлении выше атмосферного, ее точка кипения будет выше 100°С, в силу чего увеличится также и количество требуемой физической теплоты. Чем выше давление, тем выше температура кипения воды и ее теплосодержание. Если давление понижается, то теплосодержание также уменьшается и температура кипения воды падает до темпе- ратуры, соответствующей новому значению давления. Это значит, что определенное количество физической теплоты высвобождается. Эта избыточная теплота будет поглощаться в форме скрытой теплоты парообразования, вызывая вскипание части воды и превращение ее в пар. Примером может служить выпуск конденсата из конденсатоотводчика или выпуск воды из котла при продувке. Количество образующегося при этом пара можно вычислить.

Конденсат при температуры пара и давлении 10 бар обладает теплотой в количестве 182, 1ккал/кг. См. Колонку 5 таблицы параметров пара. Если его выпускать в атмосферу, т.е. при абсолютном давлении 1 бар, теплосодержание конденсата сразу же упадет до 99,7 ккал/кг. Избыток теплоты в количестве 82,3 ккал/кг вызовет вторичное вскипание части конденсата. Величину части конденсата в %, которая превратится в пар вторичного вскипания, определяют следующим образом:

Разделите разницу между теплосодержанием конденсата при большем и при меньшем давлениях на величину скрытой теплоты парообразования при меньшем давлением значении давления и умножьте результат на 100.

Выразив это в виде формулы, получим:

%пар вторичного вскипания

$$\frac{q_1-q_2}{r} \times 100$$

q1 = теплота конденсата при большем значении давления до его выпуска

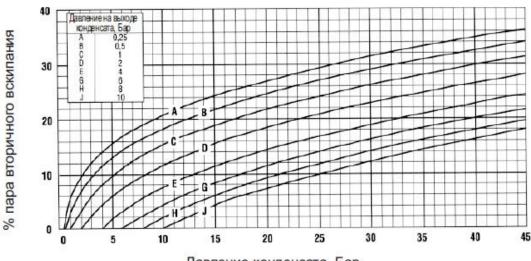
q2 = теплота конденсата при меньшем значении давления, т.е. в пространстве, куда производится выпуск

r = скрытая теплота парообразования пара при меньшем значении давления, при котором производится выпуск конденсата

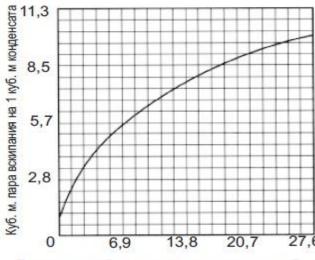
% пара вторичного вскипания =

$$\frac{182,1-99,7}{593,3} \times 100 = 15,3\%$$

График 1.



Давление конденсата, Бар



Давление образования конденсата, бар

График 2. Объем пара вторичного вскипания при выпуске одного кубического метра конденсата в систему с атмосферным давлением.

Для упрощения расчетов, на графике показано количество пара вторичного вскипания, которое будет образовываться, если выпуск конденсата будет производится при разных давлениях на выходе

Пар. Основные понятия

Рис. 1 поясняет, к чему приводит присутствие воздуха в паропроводах, а в Таблице 1 и на Графике 1 показана зависимость снижения температуры пара от процентного содержания в нем воздуха при различных давлениях.

Влияние присутствия воздуха на теплопередачу

Воздух, обладая отличными изоляционными свойствами, может образовать, по мере конденсации пара, своеобразное "покрытие" на поверхностях теплопередачи и значительно понизить ее эффективность.

При определенных условиях, даже такое незначительное количество воздуха в паре как 0,5% по объему может уменьшить эффективность тепло - передачи на 50%. См. Рис.1

Проблемы коррозии

 ${\sf CO_2}$ в газообразной форме, образовавшись в котле и перемещаясь вместе с паром, может раствориться в конденсате, охлажденном ниже температуры пара, и образовать угольную кислоту. Эта кислота весьма агрессивна и, в конечном итоге "проест" трубопроводы и теплообменное оборудование. См. Рис.2. Если в систему попадает кислород, он может вызвать питтинговую коррозию чугунных и стальных поверхностей.



Рис.1. Паровая камера со 100% содержанием пара. Общее давление 10 бар. Давления пара 10 бар температура пара 180°C

Рис.2. Камера, в которой находится смесь пара и воздуха, передает только ту часть теплоты, которая соответствует парциальному давлению пара, а не полному давлению в ее полости.



Паровая камера с содержанием пара 90% И воздуха 10%. Полное давление 10 бар. Давление Пара 9 бар, температура пара 175,4°C

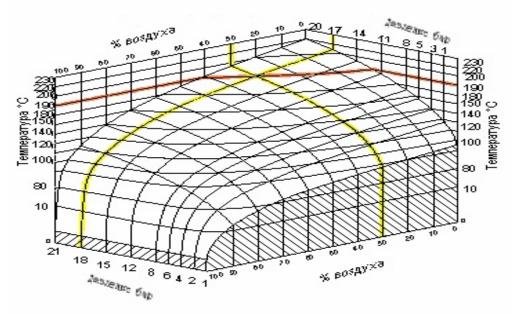
Таблица 1.

10 ±.						
Снижение темп	ературы паро-воздушн	юй смеси в зависимо	сти от содержан	ия воздуха		
Парлациа	Температура	Температура паро-воздушной смеси от к-ва				
Давление	насыщ. пара	воздуха в объему,°С				
бар	°C	10%	20%	30%		
2	120,2	116.7	113.0	110.0		
4	143.6	140.0	135.5	131.1		
6	158.8	154.5	150.3	145.1		
8	170.4	165.9	161.3	155.9		
10	179.9	175.4	170.4	165.0		

Устранение нежелательный примесей

Крайне важно, чтобы конденсат, воздух и CO2 выводились как можно быстрей и максимальной полнотой. Это осуществляется при помощи конденсатоотводчика, т.е. просто автоматического клапана, который открыт для конденсата, воздуха и CO2. Но закрыт для пара.

Из соображений экономичности, конденсатоотводчик должен сохранять работоспособность в течение длительного срока службы при минимальном обслуживании.



Понижение температуры смеси в зависимости от процентного содержание воздуха при различном давлении. Этот график позволяет определить процентное содержание воздуха в смеси при известном давлении и температуре путем нахождения точки пересечения кривых давления, температуры и процентного содержания воздуха.

Например, принимаем, что абсолютное давление в системе равно 17 бар при температуры в теплообменнике 190°С. По графику находим, что в паре содержится 30% воздуха.

Пар — это бесцветный газ, который вырабатывается путем добавления тепловой энергии воде, находящейся в котле. Чтобы повысить температуру воды до точки кипения, необходимо добавить достаточно большое количество энергии. Еще большее количество энергии требуется, чтобы вода превратилась в пар без дальнейшего повышения температуры.

Пар является весьма эффективным и легко управляемым теплоносителем и наиболее часто применяется для передачи энергии от теплоцентрали (котельной) к любому количеству паропотребителей.

Мы уже отмечали, что для превращения кипящей воды в пар, требуется дополнительное количество килокалорий. Эти килокалории не теряются напрасно. Они как бы хранятся внутри пара, готовые освободится для последующего использования.

То количество тепла, которое необходимо для превращения кипящей воды в пар, называется теплотой парообразования или скрытой парообразования. Для каждого сочетания и температуры это количество тепла будет различным, что видно из Таблицы "Свойства насыщенного пара".

ПАР ЗА РАБОТОЙ. КАК ИСПОЛЬЗУЕТСЯ ТЕПЛОТА ПАРА

Теплота всегда передается от более высокого уровня температуры к более низкому.

На этих рисунках показано, сколько тепла требуется, чтобы произвести один кг пара при атмосферном давлении. Обратите внимание, что для повышения температуры до точки кипения требуется 1 ккал на каждый 1° С, но для превращения воды при 100° С в пар с температурой 100° С требуется значительно больше. Рис.3



Начиная свой путь от точки, теплота через трубы котла передается воде. Когда более высокое давление в котле выдавит пар из котла в распределительную систему, пар в трубах будет иметь более высокую температуру, чем окружающий воздух. При этом теплота будет передаваться от пара через стенку трубы в окружающее пространство. Потеря этой теплоты заставит часть пара снова превратиться в воду, поэтому трубы распределительных паропроводов обычно изолируется, чтобы свести к минимуму эту расточительную и нежелательную теплопередачу.

Когда пар проходит до теплообменника, предназначенного для обогрева, картина меняется. В этом случае передача теплоты от пара к воздуху в калорифере, или к пище в варочном котле будет весьма желательной. Такой передаче ничто не должно мешать. См.Рис.1.

Определения

ккал. Ккал количество тепловой энергии, необходимое для повышения температуры 1 кг холодной воды на 1° С стоградусной шкалы. Или, ккал количество тепловой энергии, выделяемой 1 кг воды при ее охлаждении, скажем, с 20° С до 19° С.

Температура. Температура это степень нагрева, не связанная с количеством имеющейся тепловой энергии.

Теплота. Теплота-мера тепловой энергии. Не связанная с температурой. Для иллюстрации : одна ккал теплоты, повышающая температуру 1 кг воды от 10°C до 11°C, может быть получена от окружающего воздуха температурой 20°C или от пламени с температурой 500°C.

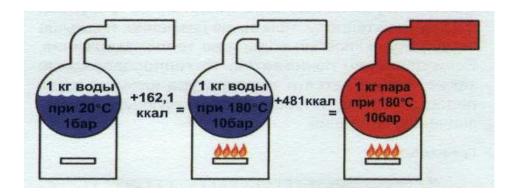


Рис.4 На этих рис. показано, какое количество теплоты требуется, чтобы произвести один кг пара при давлении 10 бар. Обратите внимание, что для доведения воды до кипения при давлении 10 бар требуется дополнительно количество теплоты и более высокая температура, чем при атмосферном давлении. Также отметьте, что для превращения воды в пар при более высокой температуре требуется меньше количество теплоты.

ДРЕНАЖ КОНДЕНСАТА. ПОЧЕМУ ОН НЕОБХОДИМ

Конденсат является побочным продуктом паровых систем. В распределительной системе он образуется из-за неизбежных теплопотерь, а в отопительном и технологическом оборудовании — из-за передачи тепла от пара к нагреваемому веществу. Как только пар сконденсируется, отдав скрытую теплоту парообразования, горячий конденсат должен быть немедленно выведен, т.к. теплота, содержащаяся в килограмме конденсата, существенно меньше теплоты, содержащейся в килограмме пара. Однако, этот конденсат все еще имеет определенную ценность и должен быть возвращен в котел.

Необходимость дренажа системы распределительных паропроводов.

Слой конденсата, покрывающий нижнюю часть паропровода, может послужить причиной одной из разновидностей гидравлического удара. Пар, движущийся по паропроводу над слоем конденсата со скоростью 160 км/час, формирует в нем волнообразные гребки. (Рис.5-2) При наличии достаточного количество конденсата, пар с высокой скоростью гонит его по трубе, образуя опасный заряд жидкости, который увеличивается по мере захвата конденсата, имеющегося по ходу движения пара. Любое препятствие, изменяющее направление потока — фитинги, регулирующие клапаны, тройники, колена, заглушки, - находятся под угрозой разрушения этим зарядом жидкости. Кроме повреждений от ударного воздействия этого заряда, движущаяся с высокой скоростью жидкость может вызывать эрозию фитингов, выкрашивая частицы с металлических поверхностей.

Необходимость дренажа теплообменников

В случае, когда вступает в контакт с конденсатом, охлажденным ниже температуры пара, может возникнуть другая разновидность удара, известного под названием "термический удар". Пар занимает в трубе значительно больший объем, чем конденсат, и резкое уменьшение его объема из-за охлаждения, т.е. коллапс пара, создает ударную волну, распространяющуюся по всей системе. Такая разновидность гидравлического удара может вызвать повреждение оборудования, а ее возникновение сигнализирует, что конденсат не отводится из системы. Очевидно, что конденсат занимает часть объема теплообменника и физически уменьшает полезный объем и производительность оборудования. Быстрое удаление конденсата обеспечивает полное его заполнение паром. (Рис.5-3). По мере конденсации пар образует внутри теплообменника пленки воды. Неконденсируемые газы не превращаются в жидкость и не выводятся самотеком. Напротив, они накапливаются в виде тонкой прослойки на поверхности теплообменника так же как загрязнения и окалина, совместно представляя потенциальное препятствие для теплопередачи (Рис. 5-1).



Рис.5-1 Потенциальные препятствия для теплопередачи : чтобы выполнять свою задачу, теплота пара и его температура должны проникнуть через все эти барьеры.

Необходимость удаления воздуха и СО2

Присутствие воздуха неизбежно при пуске оборудования и в питательной воде для котлов.

В питательной воде могут также находиться растворенные соли угольной кислоты, выделяющие газообразную двуокись углерода. Скорость движения пара прижимает эти газы к стенкам теплообменника где они могут блокировать теплопередачу. Это осложняет задачу вывода конденсата, т.к. эти газы должны выводится вместе с конденсатом.

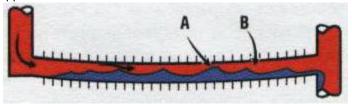


Рис. 5-2. Если допустить, чтобы конденсат накапливался в трубопроводе или в трудных сборках, то в нем под действием пролетающего поверх него пара начнут образовываться волнообразные гребни, которые в дальнейшем перекроют поток пара в точке А. Конденсация на участке В создаст перепад давления, в результате чего давление пара вытолкнет этот заряд конденсата как гидравлический таран, что приведет к гидравлическому удару.

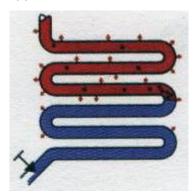


Рис. 5-3 Змеевик наполовину заполненный конденсатом. Не может функционировать с полной отдачей.

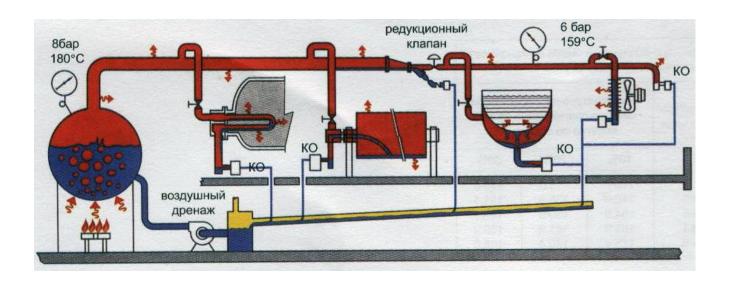


Рис. 5-4. Обратите внимание, что теплопотери системы распределительных паропроводов вызывает образование в ней конденсата и, как следствие, необходимость установки конденсатоотводчиков в местах естественного понижения паропроводов, а такие перед регулирующими клапанами. В теплообменниках конденсатоотводчики выполняют жизненно важную функцию отвода конденсата до того как его накопление начнет препятствовать процессу теплопередачи. Горячий конденсат через конденсатоотводчики возвращается в котел для повторного использования.