

ПАР ВТОРИЧНОГО ВСКИПАНИЯ

Что такое пар вторичного вскипания:

Когда горячий конденсат или воду 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 :

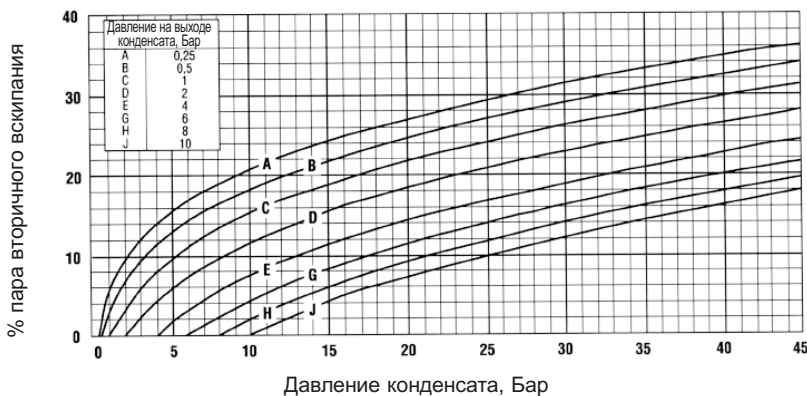
Этот пар важен потому, что в нем содержится определенное количество теплоты, которая может быть использована для повышения экономичности работы предприятия, т.к. в противном случае она будет безвозвратно потеряна. Однако, чтобы получить пользу от пара вторичного вскипания, нужно знать, как и в каком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

Как он образуется :

Если воду нагревать при атмосферном давлении, ее температура будет повышаться, пока не достигнет 100°C – 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 теплосодержанием. Теплота, необходимая 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°C при атмосферном давлении.

Однако, если воду нагревать при давлении выше атмосферного, ее точка кипения будет выше 100°C, 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 температуры, соответствующей новому значению давления.

График 5-1



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

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 температуре пара и давлении 10 бар обладает теплотой в количестве 182,1 ккал/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 значении давления и умножьте результат на 100.

Выразив это в виде формулы, получим:

$$\% \text{ пар вторичного вскипания} = \frac{q_1 - q_2}{r} \cdot 100$$

q_1 = теплота конденсата при большем значении давления до его выпуска

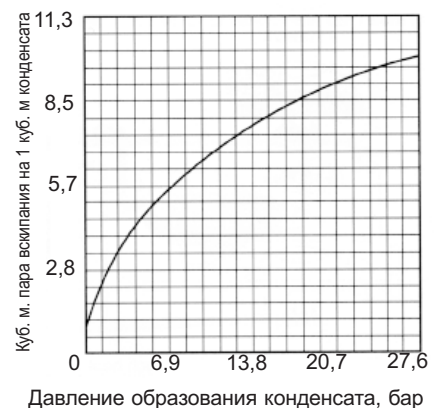
q_2 = теплота конденсата при меньшем значении давления, т.е. в пространстве, куда производится выпуск

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

% пара вторичного

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

График 5-2 Объем пара вторичного вскипания при выпуске одного кубометра конденсата в систему с атмосферным давлением



Пар... основные понятия

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 потребителей.

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 освободиться для последующего использования.

То количество тепла, которое необходимо для превращения кипящей воды в пар, называется теплотой парообразования или скрытой теплотой парообразования. Для каждого сочетания давления 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.

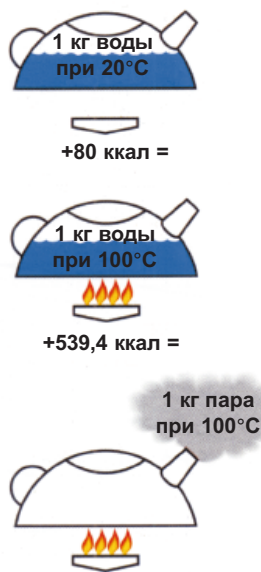


Рис. 6-1 На этих рис. показано, сколько тепла требуется, чтобы произвести один кг пара при атмосферном давлении. Обратите внимание, что для повышения температуры до точки кипения требуется 1 ккал на каждый 1°C, но для превращения воды при 100°C в пар с температурой 100°C требуется значительно большее количество ккал.

Начиная свой путь от топки, 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 изолируются, 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 6-1.

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

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.

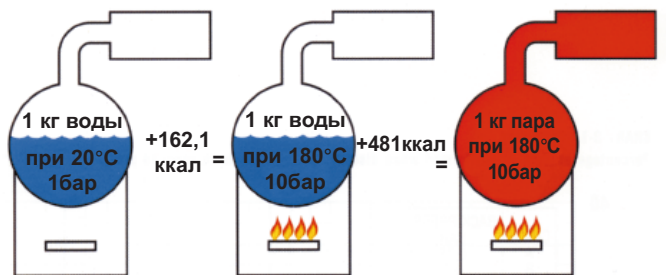


Рис. 6-2 На этих рис. показано, какое количество теплоты требуется, чтобы произвести один кг пара при давлении 10 бар. Обратите внимание, что для доведения воды до кипения при давлении 10 бар требуется дополнительное количество теплоты и более высокая температура, чем при атмосферном давлении. Также отметьте, что для превращения воды в пар при более высокой температуре требуется меньшее 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. 7-2) При наличии достаточного количества 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 из металлических поверхностей.

Необходимость дренажа теплообменников

В случае, когда пар 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

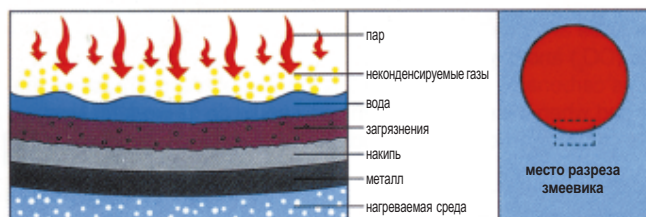


Рис. 7-1 Потенциальные препятствия для тепло-передачи: чтобы выполнять свою задачу, теплота пара и его температура должны проникнуть через все эти барьеры.

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.7-3). 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 также как загрязнения и окалина, совместно представляя потенциальное препятствие для теплопередачи (Рис. 7-1).

Необходимость удаления воздуха и CO₂

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 выводиться вместе с конденсатом.

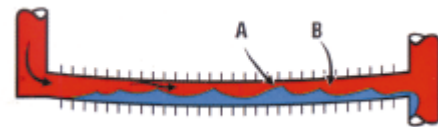


Рис.7-2. Если допустить, чтобы конденсат накапливался в трубопроводе или в трубных сборках, то в нем под действием пролетающего поверх него пара начнут образовываться волнообразные гребни, которые в дальнейшем перекроют поток пара в точке А. Конденсация на участке В создаст перепад давления, в результате чего давление пара вытолкнет этот заряд конденсата как гидравлический таран, что приведет к гидравлическому удару

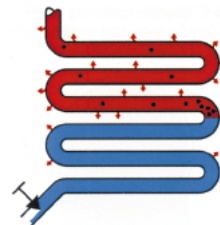
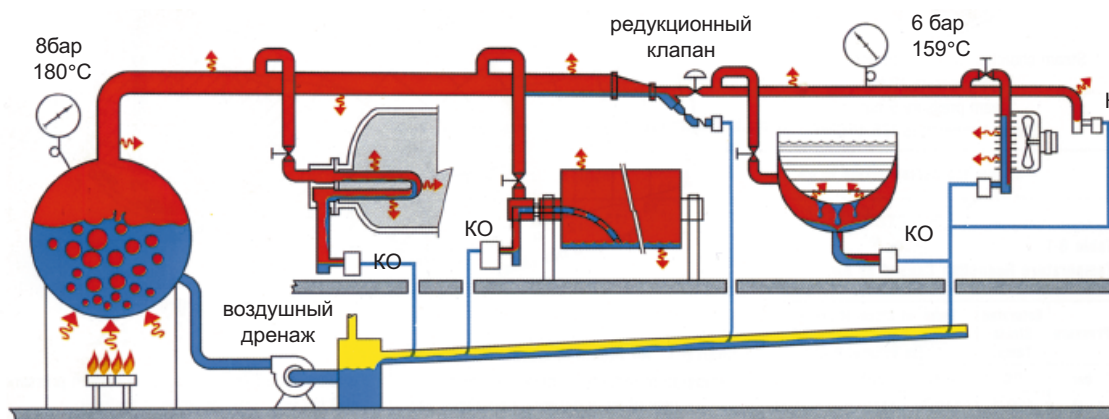


Рис. 7-3 Змеевик на половину заполненный конденсатом, не может функционировать с полной отдачей.

Рис.7-4. Обратите внимание, что теплопотери системы распределительных паропроводов вызывают образование в ней конденсата и, как следствие, необходимость установки конденсатоотводчиков в местах естественного понижения паропроводов, а также перед регулирующими клапанами. В теплообменниках конденсатоотводчики выполняют жизненно важную функцию отвода конденсата до того, как его накопление начнет препятствовать процессу теплопередачи.



Пар... основные понятия

Влияние присутствия воздуха на температуру пара

Рис. 8-1 поясняет, к чему приводит присутствие воздуха в паропроводах, а в Таблице 8-1 и на Графике 8-1 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 теплопередачи на 50%. См. Рис.8-1.

Проблемы коррозии

CO₂ 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. 9-2. Если в систему попадает кислород, он может вызвать питтинговую коррозию чугунных и стальных поверхностей. См. Рис. 9-3.

Рис.8-1. 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 со 100% содержанием пара.
Общее давление 10 бар. Давление пара 10 бар
температура пара 180°C



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

Устранение нежелательных примесей

Крайне важно, чтобы конденсат, воздух и CO₂ выводились как можно быстрее и с 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.

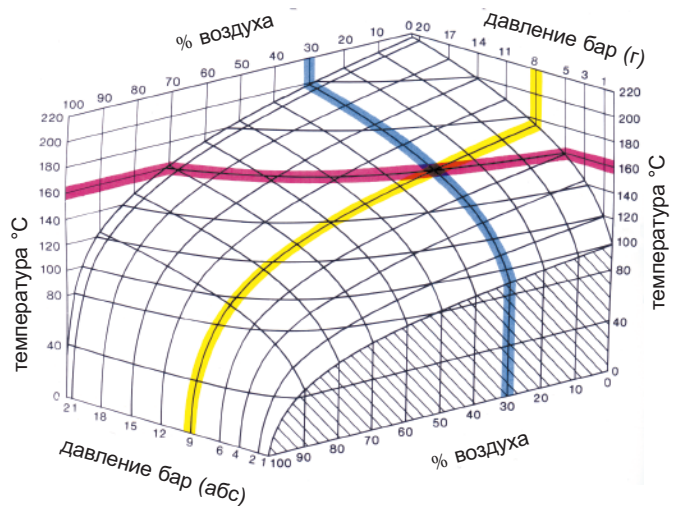


График 8-1. Паровоздушная смесь

Понижение температуры смеси в зависимости от процентного содержания 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 температуре в теплообменнике 190°C. По графику находим, что в паре содержится 30% воздуха.

Таблица 8-1

Снижение температуры паро-воздушной смеси в зависимости от содержания воздуха				
Давление	Температура насыщ. пара	Температура паровоздушной смеси в зависимости от к-ва воздуха по объему, °C		
		10%	20%	30%
бар	°C			
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

Конденсатоотводчик. Какие функции он должен выполнять

В обязанности конденсатоотводчика входит удаление конденсата, воздуха и CO₂ из обогреваемого паром агрегата по мере их накопления. Кроме того, для повышения эффективности и экономичности, конденсатоотводчик должен обеспечивать :

- 1. Минимальные потери пара.** Таблица 9-1 показывает, как дорого могут обойтись незамеченные протечки пара.
- 2. Длительный срок службы и надежность в эксплуатации.** Быстрый износ деталей незамедлительно приводит конденсатоотводчик к состоянию ненадежности. Конденсатоотводчик с высоким коэффициентом полезного действия экономит средства за счет минимизации затрат на испытания, проверки, ремонт, очистку, а также сокращает простой и связанные с ним затраты.
- 3. Устойчивость против коррозии.** Детали конденсатоотводчика должны быть коррозионно-стойкими, чтобы противостоять разрушительным свойствам конденсата.
- 4. Отвод воздуха.** Воздух может попадать в пар в любое время, но особенно – во время пуска. Чтобы обеспечить эффективную теплопередачу и пре-

Рис. 9-1. Пар. Конденсируясь в теплообменнике, перемещает воздух к поверхности теплопередачи, где он конденсируется и образует своеобразное «покрытие», которое является эффективной теплоизоляцией.

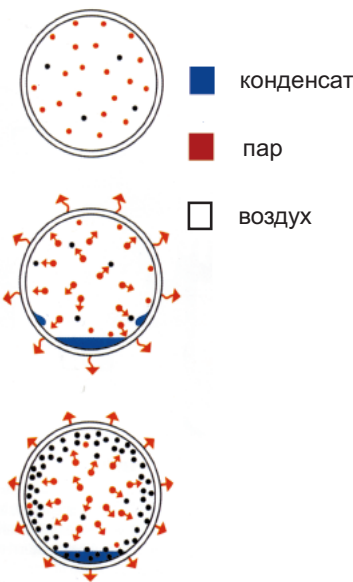


Таблица 9-1. Потери пара через отверстия различного сечения при давлении 7 бар

Диаметр проходного отверстия	К-во пара теряемого за месяц, кг
1/2"	379.500
7/16"	289.500
3/8"	213.600
5/16"	147.700
1/4"	95.400
3/16"	53.200
1/8"	23.800

дотратить образование воздушных пробок в системе, необходимо своевременное удаление воздуха.

- 5. Дренаж CO₂ при температуре пара.** Если CO₂ и конденсат выводить при температуре пара, то образование агрессивной угольной кислоты в теплообменниках становится невозможным.
- 6. Работоспособность при наличии противо-давления.** В линии возврата конденсата всегда возможно возникновение противодействия. Конденсатоотводчик должен сохранять работоспособность в условиях противодействия в линии возврата.
- 7. Нечувствительность к посторонним примесям.** Загрязнение посторонними частицами является постоянно действующим фактором, т.к. конденсатоотводчики устанавливаются в нижних точках паровых систем. Конденсат подхватывает находящуюся в трубах грязь и накипь, а твердые частицы могут привноситься непосредственно из котла. Даже те частицы, которые проходят через сетку фильтра, могут вызывать эрозию и поэтому конденсатоотводчик должен сохранять работоспособность при наличии загрязнений. Конденсатоотводчик, который даже в незначительной мере не обладает всеми перечисленными функциональными и конструктивными свойствами, будет снижать эффективность системы и увеличивать эксплуатационные затраты. С другой стороны, конденсатоотводчик, обладающий всеми этими свойствами, служит важнейшим фактором, обеспечивающим :

1. Быстрый разогрев теплообменного оборудования.
2. Максимальную температуру оборудования.
3. Максимальную производительность оборудования.
4. Максимальную экономию топлива.
5. Снижение трудоемкости на единицу выпускаемой продукции.
6. Минимальное техобслуживание и длительный срок безотказной работы.

Иногда, для особых условий эксплуатации, могут понадобиться менее эффективные конденсатоотводчики, но для подавляющего большинства условий эксплуатации наилучшие результаты можно получить от тех конденсатоотводчиков, которые соответствуют всем перечисленным основным требованиям.

Рис. 9-2. CO₂ в виде газа соединяется с конденсатом, охлажденным ниже температуры пара и образует угольную кислоту, вызывающую коррозию труб и теплообменников. Обратите внимание на раковины, которыми разъедена показанная по снимке труба.

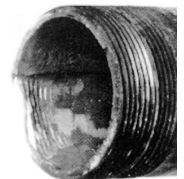


Рис.9-3. Присутствие кислорода в системе ускоряет процесс коррозии (окисления) труб, вызывая точечную коррозию, показанную на этом снимке.

