

Пар - это бесцветный газ, который вырабатывается путем подвода тепла к воде в паровом котле. Чтобы повысить температуру воды до точки кипения, необходимо добавить достаточно большое количество энергии. Еще большее количество энергии, требуется для того, чтобы вода превратилась в пар, что происходит без дальнейшего повышения температуры. Пар является весьма эффективным и легко управляемым теплоносителем и наиболее часто применяется для передачи тепловой энергии от ТЭЦ или котельной к различным потребителям. Как уже было отмечено, для превращения кипящей жидкости в пар, требуется дополнительное количество теплоты. Эти килокалории не тратятся впустую. Они как бы накапливаются и хранятся внутри пара, готовые освободиться для последующего использования. То количество теплоты, которое необходимо для превращения кипящей воды в пар, называется теплотой парообразования или скрытой теплотой парообразования. Для каждого сочетания давления и температуры это значение будет разным, причем **с увеличением давления эта величина уменьшается**.

Пар в работе...

Как используется тепло пара

Теплота всегда передается от более высокого уровня температуры к более низкому. Начиная свой путь от топки котла, теплота от дымовых газов через трубы котла передается воде. Вода нагревается, закипает и превращается в пар, который под действием высокого давления поступает в распределительную систему. Пар в трубах будет иметь значительно более высокую температуру, чем окружающий воздух. При этом часть теплоты будет уходить от пара через стенку трубы в окружающее пространство. Эта потеря теплоты заставит часть пара снова превратиться в конденсат, поэтому трубы распределительных паропроводов необходимо

теплоизолировать, чтобы свести к минимуму эти потери. Когда пар доходит 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, при этом пар должен полностью конденсироваться и такой теплопередаче ничто не должно мешать (См. рис. CG-13-4)

Дренаж конденсата. Почему он необходим?

Конденсат является результатом работы паровых систем. В распределительной системе он образуется из-за неизбежных теплопотерь в окружающую среду, а в отопительном и технологическом оборудовании из-за передачи теплоты пара нагреваемому продукту. Как только пар сконденсируется, отдав скрытую теплоту парообразования, горячий конденсат должен быть немедленно удален, т.к. теплота, содержащаяся в 1 кг конденсата, значительно меньше теплоты в 1 кг пара. Однако, этот конденсат все еще имеет определенную ценность и должен быть возвращен в котел.

Определения

- п **кДж.** 4,186 кДж=1 ккал – это количество теплоты, необходимое для повышения температуры 1 кг холодной воды на 1°C. Или, 4,186 кДж- это количество теплоты, теряемой 1 кг воды при ее охлаждении, скажем, с 20°C до 19°C.
- п **Температура.** Это степень нагрева, не связанная с количеством имеющейся тепловой энергии.
- п **Теплота.** Теплота- энергия, которую получает или теряет тело при теплообмене (**величина, не связанная с температурой**). Для иллюстрации: 4,186 кДж повышает температуру 1 кг воды от 10°C до 11°C. Это же количество теплоты может быть получено из окружающего воздуха температурой 20°C или от пламени с температурой 900°C.



Рисунок CG-12-1. На этих рисунках показано сколько тепла потребуется, чтобы произвести 1 кг пара при атмосферном давлении. Заметьте, что для повышения температуры воды до точки кипения требуется 4,186 кДж на каждый градус 1°C, но для превращения воды при 100°C в пар при температуре 100°C требуется значительно больше тепла.

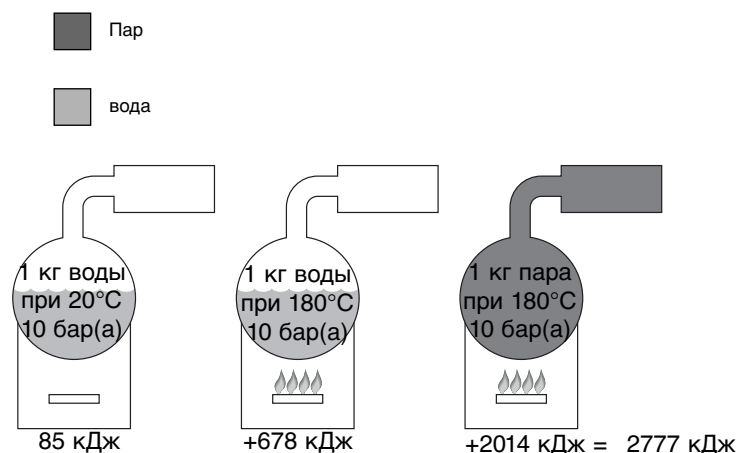


Рисунок CG-12-2. На этих рисунках показано, какое количество теплоты требуется, чтобы произвести 1 кг пара при давлении 10 бар(а). Заметьте, что для нагрева воды до кипения при более высоком давлении требуется больше теплоты, чем при атмосферном давлении.

Необходимость дренажа системы распределительных паропроводов. Слой конденсата, покрывающий нижнюю часть паропровода, может послужить причиной одной из разновидностей **гидроудара**. Пар, движущийся по паропроводу со скоростью 40 м/с, формирует в нем волнообразные гребни (Рис. CG-13-1). 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 движения потока - фитинги, регулирующие клапаны, тройники - находятся под угрозой разрушения этим зарядом жидкости.

Необходимость дренажа теплообменников. 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 гораздо больший объем, чем конденсат, и резкое уменьшение его объема из-за его охлаждения, создает ударную волну, распространяющуюся по всей системе. Такая разновидность гидравлического удара может вызвать повреждение оборудования, а ее возникновение сигнализирует о том, что конденсат не отводится из системы.

Очевидно, что если конденсат занимает часть объема теплообменника, то уменьшается поверхность теплообмена с высоким коэффициентом теплопередачи, что снижает передаваемое количество теплоты. Быстрое удаление конденсата обеспечивает максимальный теплосъем с поверхности. (Рис. CG-13-3).

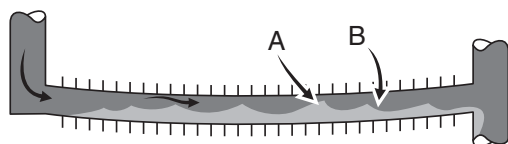


Рисунок CG-13-1. Если допустить накопление конденсата в трубопроводе или трубных сборках, то в нем под действием пролетающего поверх конденсата пара начнут образовываться волнообразные гребни, которые в дальнейшем перекроют поток пара (в точке А). Конденсация пара на участке В создаст перепад давления, в результате чего давление пара вытолкнет этот заряд конденсата, как гидравлический таран, что приведет к гидроудару.

По мере конденсации пар образует на стенке пленку конденсата. Неконденсируемые газы не превращаются в жидкость и не отводятся самотеком. Наоборот, они накапливаются в виде тонкой прослойки на поверхности теплообменника и, также как загрязнения и окалина, совместно представляют потенциальное препятствие теплообмену (Рис. CG-13-2).

Необходимость удаления воздуха и CO₂. Присутствие воздуха неизбежно при пуске оборудования и в питательной воде для котлов. В питательной воде могут



Рисунок CG-13-2. Барьеры теплопередачи: неконденсируемые газы, загрязнения и окалина затрудняют передачу тепла.

также находиться растворенные соли угольной кислоты, выделяющие двуокись углерода. Пар, конденсируясь, прижимает эти газы к стенкам теплообменника, где они могут блокировать теплопередачу. Это осложняет задачу вывода конденсата, т.к. эти газы должны удаляться вместе с конденсатом.

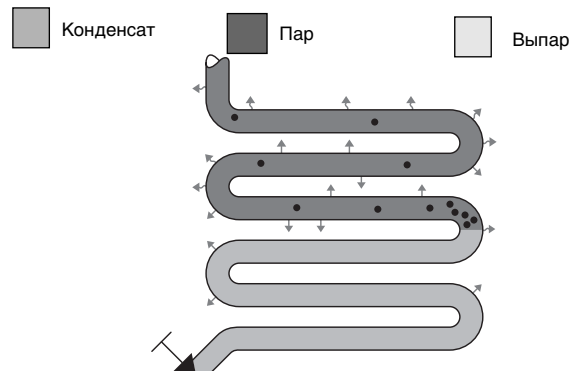


Рисунок CG-13-3. Змеевик наполовину заполнен конденсатом и не может работать в полную мощность.

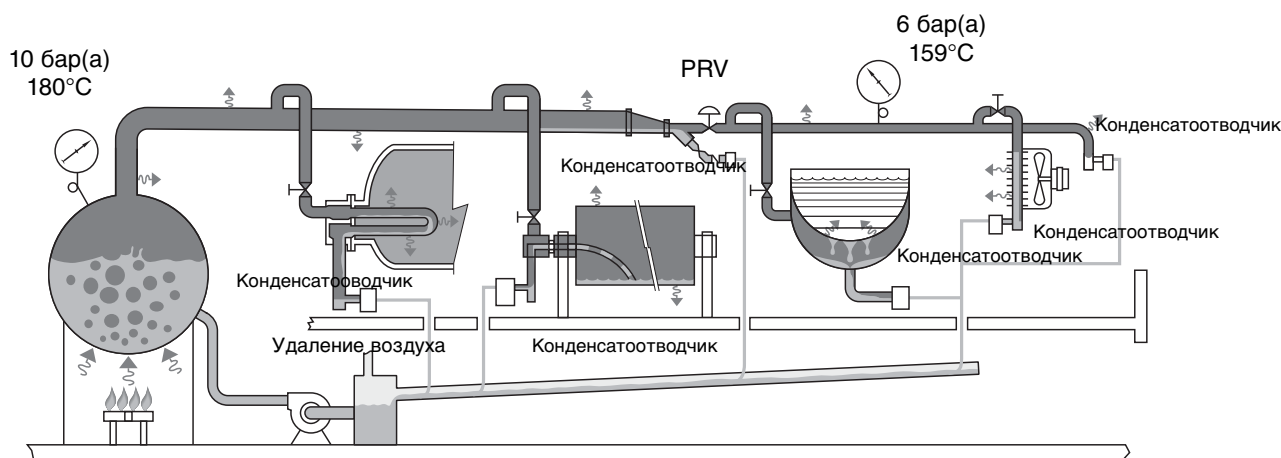


Рисунок CG-13-4. Обратите внимание, что теплотери в системе распределительных паропроводов вызывают образование в ней конденсата и, как следствие, необходимость установки конденсатоотводчиков в местах естественного понижения паропроводов, а также перед регулирующими клапанами. В теплообменниках конденсатоотводчики отводят конденсат до того, как его накопление начнет препятствовать процессу теплопередачи.

Влияние воздуха на температуру пара

Рисунок CG-14-1 поясняет, к чему приводит присутствие воздуха в паропроводах. В таблице CG-14-1 и на графике CG-14-1 показана зависимость снижения температуры паровоздушной смеси от процентного содержания в ней воздуха при различных давлениях.

Влияние воздуха на теплопередачу

Воздух, обладая отличными теплоизоляционными свойствами, может образовать "своеобразное покрытие" на поверхности теплопередачи и значительно снизить 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. CG-15-1).

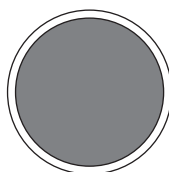
Коррозия

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. (Рис. CG-15-2). Если в систему попадет кислород, то он может вызвать питтинговую коррозию чугунных и стальных поверхностей. (Рис. CG-15-3).

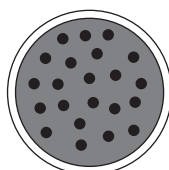
Таблица CG-14-1. Снижение температуры из-за присутствия воздуха

Давление (бар(а))	Темпер. насыщенного пара (°C)	Снижение темпер. паровозд. смеси в зависимости от содержания воздуха. (°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

Рисунок CG-14-1. 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 содержит 100% пара
Давление внутри камеры 10 бар(а)
Парциальное давление пара 10 бар (а)
Температура пара 180°C



Паровая камера содержит 90% пара и 10% воздуха
Давление внутри камеры 10 бар(а)
Парциальное давление пара 9 бар(а), что соответствует температуре насыщения 175,4°C (температура в паровой камере)

Устранение нежелательных примесей

Крайне важно, чтобы конденсат, воздух и CO₂ выводились как можно быстрее и с максимальной полнотой. Это также осуществляется при помощи конденсатоотводчика, т.е. простого автоматического клапана, который открыт для конденсата и воздуха, но закрыт для пара. Из соображений экономичности, конденсатоотводчик должен сохранять работоспособность в течение длительного срока службы при минимальном обслуживании.

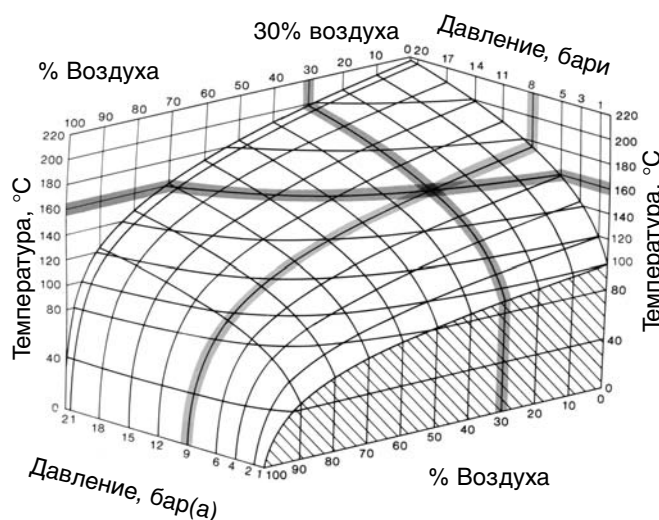


График CG-14-1. Паровоздушная смесь

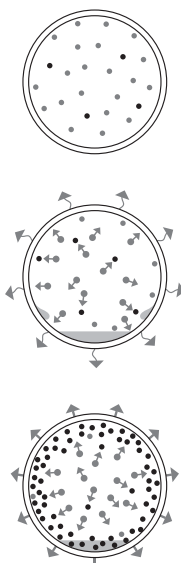
Понижение температуры смеси в зависимости от процентного содержания воздуха при разных давлениях. Этот график позволяет определить процентное содержание воздуха в смеси при известном давлении и температуре путем нахождения точек пересечения кривых давления, температуры и процентного содержания воздуха. Например, если абсолютное давление в системе равно 9 бар(а) при температуре в паровой камере теплообменника 160°C, то по графику находим, что содержание воздуха в паре равно 30%.

Какие функции должен выполнять конденсатоотводчик

В обязанности конденсатоотводчика входит удаление CO_2 , воздуха и конденсата из обогреваемого паром агрегата по мере их накопления. Кроме того, для повышения эффективности и экономичности работы, конденсатоотводчик должен обеспечивать:

- 1. Минимальные потери пара.** Таблица CG-15-1 показывает как дорого могут обойтись потери пара.
- 2. Длительный срок службы и надежность в эксплуатации.** Быстрый износ деталей незамедлительно приводит конденсатоотводчик к состоянию неустойчивой работы. Высокоэффективный конденсатоотводчик экономит средства за счет минимизации затрат на испытания, ремонт, проверку, очистку, а так же сокращает простой и связанные с ним потери.
- 3. Устойчивость к коррозии.** Рабочие 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 предотвратить образование воздушных пробок в системе необходимо удалять воздух при температуре насыщения.
- 5. Удаление CO_2 .** Если CO_2 удалять при температуре пара, то образование агрессивной угольной кислоты в теплообменниках становится невозможным.
- 6. Работоспособность при наличии противодействия.** В линии возврата конденсата всегда возможно возникновение противодействия. Конденсатоотводчик должен сохранять работоспособность в условиях противодействия в линии возврата конденсата.
- 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 непрерывно поступать из котла. Даже те частицы, которые проходят через

Рисунок CG-15-1. 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.



■ Конденсат

■ Пар

сетку фильтра могут вызывать эрозию и поэтому конденсатоотводчик должен сохранять работоспособность при наличии загрязнений.

Если конденсатоотводчик удовлетворяет не всем этим требованиям, то эффективность (КПД) системы значительно снижается и увеличиваются затраты. Конденсатоотводчик, обладающий всеми этими свойствами, служит важнейшим фактором, обеспечивающим:

1. Быстрый разогрев парового оборудования
2. Максимальную температуру оборудования
3. Максимальную производительность оборудования
4. Максимальную экономию топлива
5. Снижение трудоемкости на единицу выпускаемой продукции
6. Минимальное обслуживание и длительный срок безаварийной 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 требованиям.

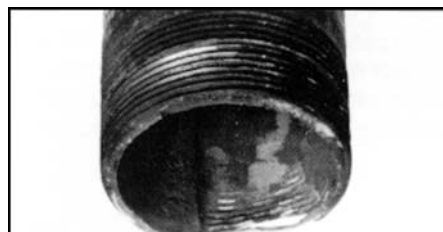


Рисунок CG-15-2. CO_2 в виде газа соединяется с конденсатом, охлажденным ниже температуры пара и образует угольную кислоту, вызывающую коррозию труб и теплообменников.

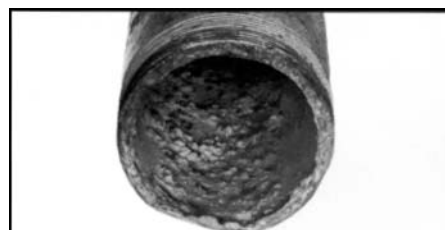


Рисунок CG-15-3. Присутствие кислорода в системе ускоряет процесс коррозии труб, вызывая точечную коррозию, показанную на этом снимке.

Таблица CG-15-1. Стоимость тепловых потерь с паром при 7 бар (предполагается, что стоимость пара 10,00 Евро за тонну)

Размер вх. отв (дюймы)	К-во пара, теряе мого в месяц (т)	Общая стоим. в месяц	Общая стоим. в год
1/2"	379,5	3 795	45 540
7/16"	289,5	2 895	34 740
3/8"	213,6	2 136	25 632
5/16"	147,7	1 477	17 724
1/4"	95,4	954	11 448
3/16"	53,2	532	6 384
1/8"	23,8	238	2 856

Величина утечек пара предполагает, что через отверстие с острыми кромками проходит чистый, сухой пар без конденсата. Конденсат уменьшает эти потери в связи с появлением вторичного пара.