Содержание

Аннотация

The summary

Введение

1. Теоретические сведения

1.1 Краткое описание печи и взвешенной плавки

1.2 Реакционная шахта. Описание её способа охлаждения

1.3 Описание общей системы охлаждения. Система охлаждения холодной водой

1.4 Водоснабжение охлаждаемых деталей холодной водой

2. Модель расчета

2.1 Расчёт потерь напора на трение

2.2 Расчёт местных потерь напора

2.3 Построение характеристики сети

2.4 Расчет тепломассообмена

3. Исходные данные

4. Результаты расчётов и их анализ

4.1 Расчет сопротивления b для стояков и коллектора (их участков)

4.2 Расчет сопротивления b для всей системы охлаждения

4.3 Расчет общих потерь в кессоне, стояке, коллекторе и всей системы охлаждения

4.4 Составление и решение уравнений Бернулли

4.5 Расчет коэффициента а для уравнения напорной характеристики

5. Построение характеристики сети

6. Расчет потерь тепла

Заключение

Список литературы

Аннотация

В данной курсовой работе рассматривается система водяного охлаждения закладных кессонов реакционной шахты печи взвешенной плавки.

Страниц 33, таблиц 1, рисунков 4.

The summary

In the given course work the system of water cooling of mortgage caissons of reactionary shaft of the furnace weighed swimming trunks is examined.

Pages 33, tables 1, figures 4.

Введение

Гидроаэромеханика – одна из основных инженерных дисциплин, на которых базируется металлургическое производство. Она является разделом механики, описывающим законы равновесия и движения жидкостей и газов и взаимодействие этих сред с твердыми телами.

Гидравлика – это прикладная наука, занимающаяся чисто инженерными вопросами движения жидкости и базирующаяся на экспериментальных данных. Практическое значение гидроаэромеханики весьма велико, так как она представляет собой основу для инженерных расчётов во многих областях техники и является базой для ряда специальных дисциплин: гидротехники, гидравлических машин (насосы и турбины) водоснабжения и канализации, осушения и орошения, водного транспорта и т.д.

Для металлурга – автоматчика важность данной дисциплины обусловлена особенностями металлургического производства, а именно подачей и отводом газов, воды, кислот и других жидкостей, но самое важное заключается в том, что управление потоками является одним из удобных методов регулирования производственного процесса.

Благодаря применению электронных вычислительных машин, существенно улучшилось проектирование трубопроводов. Использование такой техники повлияло на конструктивные решения, так как позволило осуществлять сложные схемы с подвижными узлами, применения которых избегали из-за трудностей их расчёта.

1. Теоретические сведения

1.1 Краткое описание печи и взвешенной плавки

В основе способа взвешенной плавки лежат реакции окисления сульфидов, протекающие со значительным выделением тепла. Кроме того, в исходном рудном концентрате в значительных количествах присутствуют высшие сульфиды, которые легко диссоциируют при 550-700оС с отщеплением элементарной серы, сгорающей в плавильной шахте печи. Благодаря этому плавка может быть полностью автогенной, то есть может протекать без дополнительных затрат топлива или энергии. В отдельных случаях при недостатке тепла дефицит его можно восполнить подачей в печь некоторого количества топлива или проведением плавки на дутьё, обогащённом кислородом. Регулируя степень обогащения дутья кислородом, можно подобрать условия, при которых плавка будет протекать в спокойном режиме с постоянными параметрами.

Печь для плавки во взвешенном состоянии (рис. 1) состоит из трёх основных частей:

* вертикальной цилиндрической реакционной (плавильной) шахты, в которой происходят обжиг и плавка шихты во взвешенном состоянии;
* отстойной камеры для разделения штейна и шлака и
* вертикального круглого аптейка, по которому отходящие газы отводятся в котёл-утилизатор.

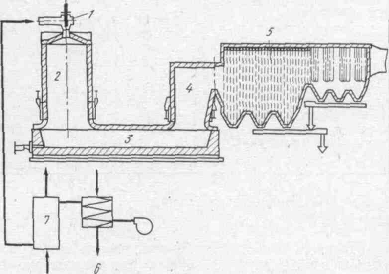


Рис. 1. Печь для плавки во взвешенном состоянии

1 — горелка; 2 — реакционная камера; 3 — отстойная ванна; 4 — аптейк;

5 — котел-утилизатор; 6 — паровой воздухоподогреватель;

7 — топливный воздухоподогреватель

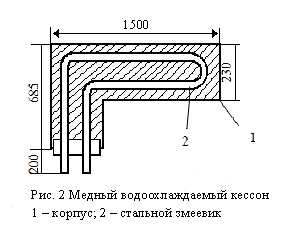
Размеры печей на разных заводах различны. В нашем случае высота реакционной шахты составляет 9,5 м при диаметре в 4,5 м. Площадь отстойной части печи, из расчёта производительности 8 т/м2 площади отстойника, равна 110 м2 (22 5,5).



Производительность печи – 900 т/сутки.

1.2 Реакционная шахта. Описание её способа охлаждения

В реакционной (плавильной) шахте, являющейся составляющей печи взвешенной плавки, происходят обжиг и плавка шихты во взвешенном состоянии. Внутренний диаметр шахты составляет 3700 мм при высоте 7400 мм, объём равен 80 м3. Кожух шахты является сварным и футерован изнутри магнезитовым (хромомагнезитовым) кирпичом; толщина футеровки стен шахты составляет 375 мм. Свод шахты, толщиной – 375 мм, также выложен из магнезитового (хромомагнезитового) кирпича. Шахта печи подвешена на восьми круглых стальных тягах к специальной металлической опорной конструкции. Футеровка шахты опирается на два кольцевых кессонных пояса, укреплённых к кольцевой восьмиугольной балке, которая охватывает кожух шахты в нижней его части и подвешена к указанным выше восьми тягам. Кессонные кольца шахты собраны из плоских медных кессонов, внутри которых залиты стальные змеевики для циркуляции воды.



Кессоны выполнены в виде прямоугольной плиты размером толщиной и соединены в секции, каждая из которых оборудована общей рамой. При этом все смежные секции скреплены между собой в вертикальном и горизонтальном направлениях и жестко связаны с несущим каркасом.



В то время, когда сооружались первые печи для плавки во взвешенном состоянии, ещё не были известны особые требования, предъявляемые к огнеупорам и способу кладки реакционной зоны.

Первые конструкции реакционных шахт, выложенные традиционными методами металлургической плавки, быстро разрушались под действием стекающих по рабочей поверхности шахты продуктов плавления.

Выявлено также, что работа мазутных горелок, повышающих температуру в шахте, вызывает неизбежные турбулентные завихрения, способствующие отбрасыванию жидких продуктов на стенки шахты и, как следствие, ускоряет разрушение кладки.

Наибольшие разрушения футеровки наблюдаются в зоне наивысших температур. В верхней части шахты наблюдается обратное явление – отложение настылей магнетитового характера.

Износ футеровки печи происходит по нескольким причинам, из которых следует выделить главные:

* растворение и разъедание огнеупора шлаком, содержащим кремнекислоту;
* пропитывание футеровки штейном, окисление штейна в порах кирпича, сопровождающееся увеличением объёма и растрескиванием огнеупора;
* растрескивание огнеупора из-за температурных перепадов.

Растворимость компонентов хромомагнезитовой футеровки в силикатном шлаке невелика, но она усиливается в той зоне, где шлак непрерывно омывает футеровку.

Такими участками являются нижняя половина реакционной шахты и примыкающие к ней участки стен отстойника.

Для выполнения кладки допускается использовать только плотный, не имеющий трещин, внешних повреждений и искажения геометрии абсолютно сухой хромомагнезитовый кирпич. При плавке очень важна тщательная подгонка кирпичей с соблюдением минимальных зазоров.

В последние годы наибольшее распространение для футеровки плавильной шахты получили огнеупоры из плавленого хромомагнезита, имеющего минимальную пористость, так как это вид огнеупора приготавливается из клинкера.

Для повышения устойчивости огнеупорной кладки осуществляется её повсеместное охлаждение.

В настоящее время можно считать более или менее оптимальной следующую систему охлаждения реакционной шахты:

* верхняя часть шахты охлаждается орошением водой металлического кожуха, прилегающего к футеровке;
* в нижней части шахты охлаждение осуществляется медными закладными кессонами;
* внешняя поверхность кожуха верхней половины шахты охлаждается орошением водой;
* нижнюю часть кожуха шахты охлаждают орошением водой из дырчатых труб, подвешенных на двух уровнях. Охлаждающую воду собирают в приваренные к кожуху два желоба и отводят в канализацию.

Метод охлаждения плавильной шахты печи хоть и кажется примитивным, но хорошо зарекомендовал себя в практике действующих предприятий. Плёнка стекающей по кожуху воды надёжно и, главное, равномерно охлаждает кладку, создавая наилучшие условия работы огнеупоров.

На скорость износа огнеупоров в плавильной зоне в значительной степени влияет расстояние между медными кессонами. Чем чаще поставлены кессоны, тем дольше кладка выдерживает непрерывное воздействие расплава, однако, тем больше тепловые потери, и это неблагоприятно складывается на тепловом балансе и экономике плавки.

При правильном выборе расстояния между кессонами степень износа огнеупоров в первый год работы печи может составлять менее 100 мм. Во второй и третий год работы износ сокращается, так как увеличивается теплоотвод, и футеровка покрывается слоем магнетитового гарниссажа, который в значительной степени предохраняет её от дальнейшего разрушения. Удачно выбранное расстояние между кессонами и режим охлаждения позволяют продлить кампанию печи без остановки её на капитальный ремонт до 3 – 4 лет. Также на длительность срока службы футеровки существенно влияет режим плавки.

Если плавку ведут на богатый штейн, то процесс сопровождается образованием большого количества магнетита, который откладывается в виде настылей на охлаждаемых участках футеровки. По мере наращивания слоя магнетитовой настыли процесс стабилизируется и футеровка оказывается в благоприятных условиях, способствующих её длительной работе. Причём наибольший перепад температур наблюдается в тех местах, где футеровка изношена в большей степени. Именно на этих участках отлагаются значительные магнетитовые настыли, предохраняющие кладку от дальнейшего разрушения.

Иное положение наблюдается при плавке на бедный штейн, который способен растворить в себе большие количества магнетита. Бедный штейн получается в самом процессе, как правило, насыщенным по магнетиту. Стекающие по стенкам реакционной шахты струйки расплава растворяют в себе магнетитовую настыль и обнажают нижележащую футеровку, способствуя тем самым её интенсивному износу. В известной степени к такому же результату приводит излишний перегрев продуктов плавки в реакционной зоне при чрезмерном расходе топлива на подтопку.

Внешняя поверхность кожуха верхней половины шахты охлаждается орошением водой. Чтобы достичь желаемого охлаждения хромомагнезитовая футеровка должна плотно прилегать к кожуху. В нижней части шахты весь ”излишек” футеровки разъедается очень быстро и в дальнейшем устанавливается относительное равновесие, поэтому первоначальную футеровку следует выкладывать не более чем на 250 – 300 мм. Верхняя часть шахты достаточно надежна, защищена магнетитовой настылью и поэтому не требует значительного охлаждения. Вполне естественно, что, чем выше температура дутья, тем выше в реакционной шахте будет располагаться зона максимальных температур, и тем большую часть шахты необходимо будет футеровать с закладными медными кессонами.

Вес футеровки шахты передаётся на опорные пояса, роль которых выполняют кольцевые закладные кессоны, прочно скреплённые с кожухом шахты. Последний крепится к несущим конструкциям и, таким образом , шахта оказывается подвешенной без опоры на свод отстойной зоны печи.

Очень ответственным узлом печи является соединение плавильной шахты со сводом отстойной камеры. В равной степени это относится и к сочленению отстойника с аптейком. Соединение шахт с отстойной камерой выполняется из фасонного кирпича или из литого огнеупорного материала. В настоящее время в основном применяют литые огнеупоры, способ укладки которых проще, однако их следует интенсивно охлаждать, так как этот участок непрерывно подвергается действию стекающего расплава. К тому же нижний пояс плавильной шахты примыкает к выпуклому своду отстойника, и герметическая форма сочленения получается сложной.

На некоторых заводах футеровка соединительной части сверху охлаждается кессонами нижнего пояса шахты, а снизу кессонами, установленными между сводом и литыми огнеупорами. Внутри самой футеровки встроено кольцо из водоохлаждаемых медных литых профильных труб. Тепловое расширение между сводом отстойника и шахтой компенсируется температурными швами между сводом и футеровкой из литых огнеупоров.

Слабым местом такой конструкции является недостаточная устойчивость литого огнеупора против разъедания расплавом, поэтому в конструкции должно быть предусмотрено интенсивное охлаждение, которое обеспечило бы образование достаточно толстого слоя гарниссажа. Расход воды должен быть большим и подача воды должна осуществляться по двум параллельным системам, так как даже кратковременная остановка в подаче воды может привести к прогару соединения и выходу из строя всей печи.

Продолжительность срока службы критических точек футеровки печи, к которым прежде всего относятся сочленения шахт со сводом отстойника, зависит от надёжности охлаждения. Даже при непрерывной подаче воды возможно образование пробок за счёт отложения солей, взвеси или прекращение поступления воды в отдельные элементы при их перегреве и закипании воды с образованием паровых пробок. Кратковременное пребывание охлаждающего элемента в таком состоянии неминуемо приводит к его прогару и остановке печи. Для обеспечения бесперебойного охлаждения на печах взвешенной плавки организуют непрерывный автоматический контроль за давлением поступающей охлаждающей воды, её расходом, температурой отходящей воды по наиболее ответственным участкам печи. Кроме того, установка для подачи и регулирования охлаждающей воды должна быть снабжена аварийным быстродействующим насосом, автоматически включающимся при выходе из строя основной системы подачи воды.

1.3 Описание общей системы охлаждения. Система охлаждения холодной водой

До недавнего времени в металлургии единственной системой охлаждения печей являлось охлаждение холодной водой. Эта система применяется с древнейших времён и в принципе наиболее проста.

При охлаждении холодной водой применяют три схемы водоснабжения: прямоточную, оборотную и повторного использования.

В данной работе мы также рассматриваем систему охлаждения холодной водой. В охлаждаемую деталь поступает вода при температуре tв.вх. =10 300С. Значение tв.вх. определяется либо климатическими условиями, либо её предварительной подготовкой. В процессе охлаждения вода воспринимает тепловой поток, поступающий в деталь из рабочего пространства печи, и нагревается до некоторой температуры tв.вых.. В подавляющем большинстве случаев температурный перепад невелик и составляет 5 300С. Коэффициент теплоотдачи от стенки детали к потоку воды достигает 10 тыс. ккал / (м2 \*ч\*град ).



Величина в определяется расходом воды и тепловой нагрузкой на деталь:



,



где q – тепловая нагрузка (тепловой поток), ккал/(м2\*с) ;

FT – площадь тепловоспринимающей поверхности детали, м2 ;

М – расход воды, кг/с ;

С – удельная теплоёмкость воды, ккал/(кг\*град) .

Выбор взаимосвязанных величин tв.вых, tв и М диктуется рядом факторов.



Во-первых, при охлаждении в условиях теплопередачи от стенки детали к воде конвекцией в сплошном потоке жидкости большое значение для интенсивности отвода тепла имеет скорость воды, определяющая значение коэффициента теплоотдачи. Если площадь поперечного сечения детали задана, например конструктивными соображениями, то увеличение скорости воды приведёт к возрастанию расхода и снижению t в.вых (расход воды прямо пропорционален скорости, в то время как тепловой поток связан с этой величиной более слабой зависимостью).

Во-вторых, температурный перепад tв ограничивается из недопущения выпадения карбонатной накипи на стенке детали. Чем выше жёсткость воды (временная и постоянная), тем при более низкой температуре происходит выпадение из неё в виде накипей карбонатов кальция и магния. Накипи ввиду их высокого теплового сопротивления, всегда пагубно сказываются на охлаждении детали. Предельная температура, при которой не происходит ещё выпадение солей карбонатной жёсткости, может быть определена по формулам:



* для прямоточной системы водоснабжения:

;



- для оборотной схемы:

,



где Nк и Nнек - соответственно карбонатная и некарбонатная жёсткости, мг-экв/л;

- окисляемость воды, мг/экв.



Третьим условием является недопущение выпадения в охлаждаемых деталях взвешенных частиц, содержащихся в жидкости (песка, окалин, частиц накипи и пр.). С этой целью необходимо поддерживать скорость воды не менее так называемой самоочищающей скорости wсам, при которой взвешенные частицы выносятся водой из детали. Величина wсам зависит от конструкции детали, рода частиц и их крупности. Обычно значения wсам принимают приближённо, в зависимости от крупности частиц.

Четвёртое условие, которое часто учитывается при проектировании водяного охлаждения, состоит в обеспечении скорости воды, исключающей так называемое местное кипение жидкости, при котором происходит интенсивное накипеобразование, причём, помимо карбонатов, из воды выпадает гипс, образующий стойкие накипи.

Кроме того, приходится учитывать гидравлические показатели. При большой скорости движения воды в охлаждаемых деталях могут возникнуть высокие потери напора, что потребует создания больших давлений в сети и значительно удорожит эксплуатацию системы охлаждения.

На практике, с учётом указанных положений, приходится обычно ограничивать температурный перепад охлаждающей воды, увеличивая её расход.

Несмотря на простоту, система охлаждения холодной водой имеет ряд существенных недостатков:

1. Система требует больших расходов воды. При этом тепловоспринимающая способность воды используется крайне недостаточно: 1 кг воды, подаваемой в деталь, отбирает от неё всего 5 – 30 ккал. Большие расходы воды требуют увеличения диаметра подающих труб и числа насосов, расширения очистных сооружений и т.д. Значительные объёмы воды затрудняют её очистку; это приводит к частому прогоранию охлаждаемых деталей.
2. Невысокая температура нагретой в охлаждаемых деталях воды (20 – 600С) делает практически невозможным утилизацию уносимого ею тепла. Вместе с тем, доля тепла, отводимого с охлаждающей водой, весьма значительна и достигает 20 – 25 % от общего его прихода в печь.
3. Принудительное движение воды в охлаждаемых деталях с высокими скоростями приводит к большим потерям напора, что требует создания в сети высоких давлений и повышенного расхода электроэнергии.
4. Принудительное движение воды в системе водяного охлаждения, обеспечиваемое насосами, делает систему зависящей от электроэнергии. На случай отключения электропитания предусматривается подача энергии на насосы от различных источников, установка резервных паровых насосов или привода постоянного тока от аккумуляторных батарей, создание значительных запасных ёмкостей для воды и т.д.

Всё это удорожает систему.

1.4 Водоснабжение охлаждаемых деталей холодной водой

Даже кратковременное прекращение или нарушение охлаждения может вызвать крупную аварию печи. Поэтому требованию надёжности подчинено устройство схем питания охлаждаемых деталей.

При охлаждении холодной водой чаще всего применяется индивидуальное питание детали от коллектора (распределительной гребёнки) холодной воды. Коллектор представляет собой отрезок трубы большого диаметра, к которой проведён общий трубопровод холодной воды. В коллектор вварены трубы, подводящие воду к охлаждаемым деталям; каждая труба снабжена вентилем. Над вентилем обычно помещают щит с наименованием охлаждаемых деталей, к которым относится каждый вентиль.

Непосредственно под коллектором расположены открытые концы трубопроводов, отводящих воду от деталей (открытый слив). Сливная и подающая трубы расположены для данной детали одна под другой, что облегчает ориентировку. Иногда каждую пару труб окрашивают в свой цвет. Сливные трубы сбрасывают нагретую воду в открытое сливное корыто, которое сообщается с канализацией.

Обычно стараются сконцентрировать подачу и отвод воды со всех элементов печи на одном коллекторе, чтобы с одного места управлять и следить за всей системой охлаждения. При большом числе охлаждаемых деталей и значительном удалении их друг то друга устраивают несколько коллекторов. При большом количестве сравнительно мелких однотипных деталей и небольших тепловых напряжениях несколько деталей соединяют последовательно; при этом от коллектора на каждое соединение идёт одна линия. Параллельное соединение даже одинаковых деталей (разветвление после регулировочного вентиля на коллекторе) не применяется, так как увеличение гидравлического сопротивления какой-либо ветви вследствие случайных причин приводит к перераспределению потоков и резкому увеличению подачи воды в эту ветвь. Система водяного охлаждения снабжается рядом контрольно–измерительных приборов. Приборы контроля в некоторых случаях дополняются автоматическими регуляторами, изменяющими режим охлаждения (чаще всего расход воды) в зависимости от изменения регулируемого параметра (чаще всего температуры воды на выходе из детали).

Контролируемыми параметрами обычно являются температура воды на коллекторе и на выходе из отдельных деталей, расход воды на детали, давление воды на коллекторе.

Температура замеряется обычно термометрами сопротивления, расход – дроссельными расходомерами или счётчиками, давление – пружинными манометрами. На случай перегрева воды в какой – либо детали и понижения давления на коллекторе предусматривается сигнализация (световая, звуковая).[[1]](#footnote-1)

2. Модель расчета

В данном разделе представлен план выполнения расчетов для системы охлаждения кессонов реакционной шахты печи взвешенной плавки. Данная модель будет использоваться в следующем разделе.

1) Расчет начинаем с общих параметров системы охлаждения: числа кессонов в ряду, длин змеевиков рядового и фурменного кессонов.

2) Расчет сопротивлений для каждого кессона, стояка, коллектора и всей системы в целом ведем по формулам, приведенным в теоретической части. В данном расчете имеются неизвестные величины (число Рейнольдса, динамическая и кинематическая вязкости, толщина ламинарного подслоя, коэффициент трения, коэффициент местного сопротивления).

3) Расчет общих потерь для каждого кессона, стояка, коллектора и всей системы в целом ведем по формулам, приведенным в теоретическом разделе. Все неизвестные величины для этих формул уже будут рассчитаны в предыдущем пункте плана.

4) Решение уравнений Бернулли, определение давлений в кессоне, стояке и на входе в систему.

5) Расчет коэффициента а для построения напорной характеристики сети.

6) Построение характеристики сети.

7) Определение потерь тепла.

2.1 Расчёт потерь напора на трение

Потери напора на трение имеют повсеместный характер. Они вызваны как действием сил вязкости между отдельными слоями жидкости, движущимися с различными скоростями, так и соударениями частиц жидкости со стенками трубопровода.

Величина потерь напора на трение в круглых напорных трубопроводах обычно рассчитываются по формуле, которая носит название Дарси – Вейсбаха:

, (1)



где - длина трубопровода; d – его диаметр; - коэффициент гидравлического трения, или коэффициент трения, определяемый рядом условий, в первую очередь режимом движения жидкости.



Расход жидкости при заданной скорости движения находится по формуле:

Q=FW (2)

где F– площадь поперечного сечения трубопровода (), а - объёмный расход жидкости ([]=м3/ч).



Теперь можно определить режим движения жидкости. Количественной мерой режима движения жидкости является так называемое число Рейнольдса . Его численное значение зависит от соотношения трёх величин: расхода или средней скорости потока W, размера поперечного сечения, в частности диаметра d (если рассматривается круглый трубопровод), и вязкости жидкости :



, (3)



Число является безразмерной величиной, в этом можно убедиться, подставив в выражение (3) размерности величин: . Границей перехода из одного режима в другой считается значение =2320. При режим движения ламинарный, при - турбулентный режим.



Для случая ламинарного режима движения в выражение (1) подставляется . Таким образом, при этом режиме не является постоянным для данной жидкости и данного трубопровода, а зависит от скорости.



На величину при турбулентном режиме существенно влияет наличие около стенки трубопровода тонкого ламинарного подслоя жидкости. При определённых условиях этот подслой играет роль смазки, препятствующей непосредственному взаимодействию частиц жидкости турбулентного ядра потока с шероховатостями поверхности стенки.



Влияние ламинарного подслоя зависит от соотношения между его толщиной и характеристиками шероховатости стенки. Когда много больше средней величины выступов шероховатости, частицы жидкости ядра потока не соприкасаются со стенкой. Такие трубы носят название гидравлически гладких. Если меньше абсолютной шероховатости, то частицы, обладающие высокой скоростью, непосредственно соприкасаются с выступами. Такие трубы называют гидравлически шероховатыми.



Состояние стенки оценивается величиной эквивалентной шероховатости , под которым понимают такую высоту выступов шероховатости, образованной песчинками одинакового размера, которая даёт ту же величину , что и интересующая нас стенка.



Для гидравлически гладких труб формулы соответственно Блазиуса и Никурадзе

(4)



,(5)



причём первая даёт хорошие результаты при , вторая при .



Для гидравлически шероховатых труб формула Никурадзе:

;(6)



При использовании формул (4) – (6) необходимо определить, в какой области работает данная труба, подсчитав толщину ламинарного слоя , например, по уравнению (7) и сравнив её с эквивалентной шероховатостью трубы.



; (7)



Определив коэффициент трения по формуле (1) находим величину потерь.

2.2 Расчёт местных потерь напора

Помимо потерь напора на трение, которые имеют место по всей длине трубопровода, при движении жидкостей и газов возникают потери напора в местах локальных возмущений потока, вызванных разного рода изменениями в направлении движения жидкости, изменениями сечения, наличием преград на пути движения и т.д.. Эти потери носят название местных потерь напора, а причины, их вызывающие, называются местными сопротивлениями.

Практически величина местных потерь прямо пропорциональна динамическому напору в данном сечении потока:



;(8)



где - коэффициент местного сопротивления, характеризующий данное сопротивление.



Общие потери напора в трубопроводе, включая потери на трение и местные потери, находят суммированием:

;(9)



где - сумма потерь напора на всех местных сопротивлениях на данном трубопроводе; - суммарный коэффициент местных сопротивлений.



2.3 Построение характеристики сети

Для трубопроводов, состоящих из часто употребляемых стандартных труб, расчёт потерь напора удобно вести с помощью обобщённых параметров трубопровода. Рассмотрим простой короткий трубопровод постоянного диаметра. Общие потери напора в нём, определяемые формулой (9), можно выразить через расход жидкости :



(10)



Сделаем замену в этом выражении:

;(11)



где b – сопротивление трубопровода.

Из выражений (10) и (11) получаем:

(12)



Из этого выражения видно, что для данного трубопровода зависимость потерь от расхода графически выражается параболой.

При последовательном соединении трубопроводов разного диаметра общие потери напора соединения равны сумме потерь в отдельных трубопроводах, расход же жидкости по всей длине соединения одинаков и равен расходу в отдельном трубопроводе:



;(13)



где - сопротивление всего соединения.



Расходы жидкости в отдельных ветвях параллельного соединения различны и определяются сопротивлением ветвей. Общий расход в соединении равен сумме расходов ветвей. В этом случае из выражения (12) получаем:



; (14)



Рассмотрим общий случай: трубопровод, в котором по пути движения жидкость совершает работу или над ней совершается работа. Полный напор жидкости в начальном и конечном сечениях трубопровода соответственно:

; ,



а приращение полного напора в трубопроводе

;(15)



где - геометрическая высота подачи жидкости.



Выражение для удельной энергии Н, которую надо затратить на приращение полного напора жидкости в трубопроводе и преодоление в нём потерь напора, носит название уравнения сети, а величина Н – полный потребный напор трубопровода.

; (16)



Преобразуем это выражение, введя обозначение

; (17)



; (18)



Учитывая выражение получим:



; (19)



где а, b и с константы для данной сети.

Выражение (19) является уравнением напорной характеристики трубопровода. Оно устанавливает связь между потребным напором и расходом жидкости в сети.[[2]](#footnote-2)

2.4 Расчет тепломассообмена

Если тело А передало каким-либо образом телу В некоторое количество тепла Q, то говорят, что между этими телами произошел теплообмен.

В теплотехнике особенно важен теплообмен соприкосновением между движущейся жидкостью и твердым телом, получивший название теплоотдачи. Это вид теплообмена встречается в тепловых аппаратах как часть общего случая перехода тепла от одной жидкости к другой через разделяющую их стенку. Такой общий случай мы будем называть теплопередачей. Под жидкостью мы в данном случае разумеем как капельную жидкость, так и упругую жидкость-газ.

Если обозначить: Q - количество тепла, которое проходит от одной поверхности стенки к другой; t’ст- температура одной поверхности стенки, ºС; t”ст- температура другой поверхности стенки ºС; - время; S- толщина стенки; F- поверхности стенки, то



Коэффициент измеряет количество тепла, распространяющееся в течении 1с в теле от одной его поверхности размером в 1м2 к другой такой же поверхности при толщине тела 1м и при разности температур 1ºС. Этот коэффициент называется коэффициентом теплопроводности.



Явление теплоотдачи между стенкой и жидкостью можно записать в виде



-коэффициент теплопередачи; измеряет количество тепла, которым обмениваются через единицу времени при разности температур между поверхностью стенки и жидкости в 1ºС



Количество тепла, переданное в единицу времени через единицу поверхности, называется поверхностной плотностью теплового потока или удельным тепловым потоком и обозначается буквой q и рассчитывается по формуле Фурье

.[[3]](#footnote-3)



3. Исходные данные

Для проведения расчётов необходимо сконструировать трубопровод на основании следующих данных:

* высота водоохлаждаемой шахты 3600 мм;
* расход воды на кессон 2 м3/ч (скорость воды в змеевике 0,5 м/с)
* давление в трубопроводе не должно превышать рабочего;
* кладка шахты из строительного кирпича - Дж/м·с·град;



* Температура внутренней стенки шахты – 1250 ˚С.

На основании этих и других (выше и ниже изложенных) данных строим трубопровод (рис. 3.).

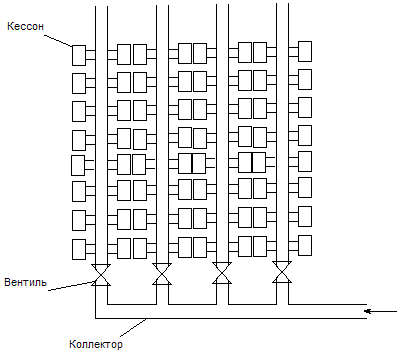


Рис 3. Схема системы охлаждения.

4. Результаты расчётов и их анализ

Произведем расчет змеевика. Определим режим движения жидкости в нём. Для этого воспользуемся формулой (3). Скорость и диаметр заданы, а кинематическую вязкость возьмем из таблицы при температуре воды 500С. Она равна . Используя эти данные, получим:



Из полученных данных видно, что режим движения воды в змеевике явно турбулентный, и поэтому необходимо рассчитать толщину ламинарного подслоя по формуле (7.).



Т.к. kэ<следовательно, трубы мы должны рассматривать, как гидравлически гладкие, а коэффициент трения рассчитывать по формуле Никурадзе, учитывая, что : .



Теперь можно приступить к расчёту потерь. Он будет производиться по формуле (9.). Найдём первую составляющую, относящуюся к потерям на трение , где . Получаем



.



Найдём теперь все коэффициенты местных потерь .



В результате получаем

.



Подставляем полученные значения в формулу (9):



Зная величину потерь, можно найти коэффициент по формуле (12):



,



где



4.1 Расчет сопротивления b для стояков и коллектора (их участков)

Рассмотрим всю сеть. Змеевики имеют четырехрядное расположение по высоте. В каждом ряду будет по шестнадцать змеевиков. Все стояки подсоединены к горизонтальной трубе, расположенной на нулевом уровне (уровне пола).

Рассчитаем расходы в стояке, исходя из того, что расход на кессон составляет 2 м3/ч.

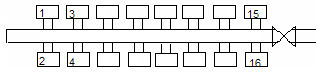


Рис.4. Схема соединения кессонов на стояке.

На первом участке параллельно соединены два кессона, поэтому расход вычисляем по формуле:

,



где Q1 и Q2 – расходы на первом и втором кессонах соответственно.

м3/сек.



Аналогичным путём произведём расчёты расходов для всех участков стояка:

м3/сек.



м3/сек.



м3/сек.



м3/сек.



м3/сек.



м3/сек.



м3/сек.



Таким образом, мы получили общий расход воды на входе в стояк:

м3/сек



Примем скорость воды w = 2,5 м/сек вычислим диаметр стояка:

F=Q/w , F=9,12·10-3 / 2,5 = 0,00365 м2 – площадь сечения трубы,

d = , d = = 0,068м = 68мм.



Сравнивая полученное значение с ГОСТ 3262 – 75.[1], получаем: d =70 мм.

Произведём пересчёт скорости при данном диаметре:

w = Q / F, w = 9,12·10-3·4/() = 2,37м/с.



Определим значение коэффициента b на отдельных участках стояка. Для этого нам нужно определить значения Re, и . Найдём значения всех параметров на выходе из стояка.



Значение абсолютной шероховатости для стальных сварных труб Δ=0,02 – 0,05мм, это значение меньше δ = 0,44мм и означает, что труба гидравлически гладкая и расчет коэффициента трения следует вести по формуле Никурадзе (т. к. ).



.



На выходе из стояка (участок 8) установлен вентиль, поэтому необходимо учитывать его сопротивление. Значение его определяем по графику в [1]:

,



Аналогично будем производить вычисления для каждого участка стояка (результаты вычислений представлены в табл. 1):

Таблица 1.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| n | Q, м3/с | d, м | l, м | w, м/с | Re | δ, мм | λ | bn, с2/м5 |
| 1 | 0,00114 | 0,070 | 1,5 | 0,30 | 18421 | 0,44 | 0,027 | 1991 |
| 2 | 0,00228 | 0,070 | 1,5 | 0,59 | 36378 | 0,24 | 0,023 | 1698 |
| 3 | 0,00342 | 0,070 | 1,5 | 0,89 | 54649 | 0,17 | 0,021 | 1550 |
| 4 | 0,00456 | 0,070 | 1,5 | 1,19 | 72456 | 0,13 | 0,019 | 1403 |
| 5 | 0,0057 | 0,070 | 1,5 | 1,48 | 90877 | 0,11 | 0,018 | 1329 |
| 6 | 0,00684 | 0,070 | 1,5 | 1,78 | 109298 | 0,09 | 0,017 | 1255 |
| 7 | 0,00798 | 0,070 | 1,5 | 2,07 | 127105 | 0,082 | 0,017 | 1255 |
| 8 | 0,00912 | 0,070 | 1,5 | 2,37 | 145526 | 0,072 | 0,016 | 3245 |

Теперь можно рассчитать коэффициенты сопротивления для каждого стояка, коллектора и всей системы.

Стояки І,II,ІІІ,ІV подобны между собой, поэтому коэффициенты сопротивления в них будут одинаковыми и расчет проводим один раз для каждого стояка. Кессоны каждого ряда в каждом стояке имеют параллельное соединение, а с участками стояков и коллектора – последовательное. Формулы для расчета соединений (25) - (33) приведены в теоретической части.

Расчет для стояка:

Первый участок стояка (два параллельно соединенных кессона)

с2/м5



Со стояком кессоны соединены последовательно:



Соединение с последующим рядом кессонов будет параллельным

с2/м5



Соединение со следующим участком стояка – последовательное

с2/м5



Аналогично рассчитаем остальные коэффициенты:

с2/м5



с2/м5



с2/м5



с2/м5



с2/м5



с2/м5



с2/м5



с2/м5



с2/м5



с2/м5



с2/м5



с2/м5



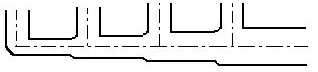
с2/м5



Таким образом получили значение коэффициента сопротивления для стояка: bс=1752 с2/м5

4.2 Расчет сопротивления b для всей системы охлаждения

Для поддержания заданной скорости, а следовательно и расхода, в каждом кессоне необходимо иметь определенный расход на каждом участке коллектора. Этого можно добиться, регулируя любой из параметров (скорость движения воды или диаметр трубы) или оба одновременно. Будем менять диаметры (Рис.4.) сохраняя скорость постоянной.



d1

d2

d3

d4

Рис. 5. Схема соединения стояков.

Таким образом, получим:

;



, т. к. , то



Сравнивая полученное значение с ГОСТ 3262 – 75.[6], получаем: d =100 мм.

Произведём пересчёт скорости при данном диаметре:

.



Аналогично вычислим и :



, по ГОСТ: d2=125 мм



,



, по ГОСТ: d1=150 мм.



Определим Re для каждого отрезка данного участка трубопровода. Кинематическая вязкость поступающей воды при температуре 20 ˚С



Режим движения воды на данных участках турбулентный, и поэтому опять же необходимо рассчитать толщину ламинарного подслоя по формуле (7.).



Т.к. Δ< (Δ=0,02 – 0,05мм)то, следовательно, трубы гидравлически гладкие и коэффициенты трения рассчитываются по формуле Никурадзе:



;



Теперь можно рассчитать потери. Для этого воспользуемся формулой (9).

Найдём теперь местные потери. При повороте от стояка к коллектору при мы используем отвод с . Т. к. диаметр коллектора переменный, то найдем при внезапном сужении: . Подставляем полученные значения в формулу ():



Теперь, учитывая параллельное или последовательное соединение друг с другом коллектора и стояков, найдем суммарное сопротивление трубопровода. С последним стояком коллектор соединен последовательно, с остальными – параллельно:



В результате получаем суммарное сопротивление трубопровода:



4.3 Расчет общих потерь в кессоне, стояке, коллекторе и всей системы охлаждения

Общие потери можно рассчитать по формуле (24), но для этого нам необходимо знать расход Q каждого кессона, участка стояка и коллектора.

Расход на один кессон нам известен из предыдущих расчетов: Qк=0.0015м3/с

Расход на стояк: Q= 0, 0192м3/с.

Общий расход жидкости на всю систему: Q∑=4Q =0.0768м3/с.

Теперь рассчитываем общие потери:

* на кессон м.



* на стояк м.



* на всю систему м.



4.4 Составление и решение уравнений Бернулли

Для составления уравнений Бернулли необходимо выбрать сечения. В первую очередь рассмотрим сечения, проведенные на входе и выходе из кессона.

Тогда уравнение Бернулли согласно (43) выглядит следующим образом:

,



где z1, z2 = 0 , т.к. оба сечения находятся на одном уровне с сечением сравнения; w1=w2 - скорость на входе и выходе из кессона одинаковая; р1=рабс – абсолютное давление в кессоне; р2=ратм=1,013·105 Па=10330кгс/м2; γ=; м.- потери напора в кессоне.



Рассмотрим сечения І-І: сечение на входе в стояк, и ІІ-ІІ: сечение на входе в кессон.

Уравнение Бернулли выглядит следующим образом:



Здесь z1=3,9 м, z2=0м; р2 и р1=10476 кгс/м2 – абсолютное давление в сечении ІІ-ІІ и І-І соответственно; w1=0,3 м/с и w2=2,37м/с – скорость движения жидкости в сечении І-І и ІІ-ІІ соответственно; м.- потери напора в стояке.



Рассмотрим сечения І'-І' и ІІ'-ІІ' (І'-І' – на входе в коллектор; ІІ'-ІІ' – на входе в стояк). Запишем уравнение Бернулли



Таким образом, определили давление , которое необходимо обеспечить для подъема жидкости до самой крайней точки.



4.5 Расчет коэффициента а для уравнения напорной характеристики

Коэффициент а уравнения напорной характеристики, отвечающий сумме геометрической высоты подачи и приращению пьезометрического напора, выглядит следующим образом:

.



Здесь ; ; z1=0 м, z2=3,9м; γ=996 кгс/м3.



м.



5. Построение характеристики сети

Уравнение характеристики сети выглядит следующим образом:



Постоянная а для данной сети рассчитана и равна 7,01м,

м



и значение коэффициента b нам также известно 93 м. ·

Уравнение для данной системы:



Графически зависимость H=f(Q) представлена на рисунке 6.

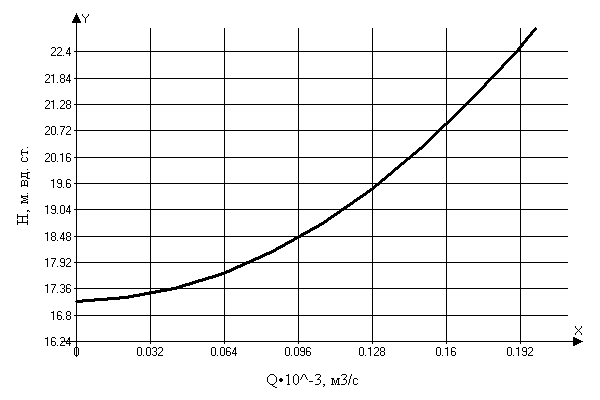


Рис. 6. Напорная характеристика трубопровода.

Из графика видно, что с увеличением расхода жидкости увеличивается величина внешней удельной энергии, которую необходимо затратить для работы трубопровода при заданных параметрах.

Т.к. a >0, то получение любого расхода требует затраты внешней энергии.

6. Расчет потерь тепла

Найдем потери тепла на один кессон. Вычислим плотность теплового потока

,



где и - соответственно температура поверхности пластины и теплоносителя (температура набегающего потока), - коэффициенты теплопроводности меди и строительного кирпича.



Термическое сопротивление стальной стенки трубы чрезвычайно мало и поэтому может быть отброшено.

,



где ,



Площадь поверхности кессона находим из его линейных размеров

.



Тогда тепловой поток, отнимаемый системой охлаждения

.



Заключение

На примере данного трубопровода мы ознакомились с основными навыками теоретического применения законов гидроаэромеханики для оценки параметров сети. Проведен полный расчет системы водяного охлаждения кессонов печи взвешенной плавки. Результатом расчетов является построенная характеристика сети. В результате такого исследования можно практически точно создать на практике условия наиболее выгодные в экономическом и техническом плане, что позволяет снизить затраты на конструирование трубопровода с достижением наибольшей его производительности.

1. Комплексная переработка медного и никелевого сырья. А.В. Ванюков, Н.И. Уткин – Челябинск: Металлургия 1988. [↑](#footnote-ref-1)
2. Водовоздушное хозяйство металлургических заводов. А.А. Гальнбек; ЛГИ 1974.

   Гидравлика – учебное пособие для вузов. Е.З. Рабинович; М – Недра 1980. [↑](#footnote-ref-2)
3. Краткий справочник по трубопроводам и арматуре. М.И. Имбрицкий; Л – Госэнергоиздат 1962. [↑](#footnote-ref-3)