

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И ИХ ПАРАМЕТРЫ

Термодинамической системой называется макроскопическое тело, выделенное из окружающей среды при помощи перегородок или оболочек (они могут быть также и мысленными, условными), состояние которого можно характеризовать макроскопическими параметрами: объемом, температурой, давлением и другими.

Термодинамическая система является представительной для оценки свойств и состояния макроскопического тела в том случае, когда она состоит из достаточно большого числа частиц. Окружающей средой термодинамической системы являются тела, расположенные за ее пределами.

Термодинамические системы подразделяются на гомогенные и гетерогенные. К гомогенной термодинамической системе относится такая, химический состав и физические свойства которой одинаковы во всех ее частях или монотонно (без скачков) изменяются от точки к точке. Примером такой системы могут служить абсолютно чистые минералы, расплавленные и сублимированные горные породы.

Гетерогенной называется такая термодинамическая система, которая состоит из двух или более гомогенных областей. Гомогенные области в гетерогенной системе называются фазами. Внутри гетерогенной системы имеются поверхности раздела фаз, при переходе через которые химический состав и физические свойства вещества изменяются скачкообразно. Практически все горные породы являются гетерогенными термодинамическими системами, так как состоят из множества однородных и разнородных минеральных зерен, разделенных между собой минеральным цементом.

Фазой гетерогенной системы называется однородная по химическому составу и физическим свойствам часть термодинамической системы, отделенная от других частей (фаз), имеющих иные свойства, границами раздела, на которых происходит скачкообразное изменение свойств макроскопического тела.

Любая термодинамическая система состоит из одной и более компонент. Компоненты — это химически индивидуальные вещества, из которых состоит термодинамическая система и которые могут быть выделены из системы и существовать вне ее.

Числом независимых компонентов называется число составляющих систему веществ, достаточное для любой фазы термодинамической системы. Например, в системе CaO и CO_2 образуется CaCO_3 в соответствии с реакцией: $\text{CaO} + \text{CO}_2 \rightleftharpoons \text{CaCO}_3$. Здесь независимыми компонентами можно считать CaO и CO_2 , а CaCO_3 рассматривать как продукт их соединения. С равным правом компонентами можно считать CaO и CaCO_3 , а CO_2 продуктом термической диссоциации CaCO_3 . Минералы и горные породы в естественном состоянии в результате воздействия на них различных физических полей могут находиться в следующих трех состояниях: твердом, жидком и газообразном. Основным состоянием является твердое. В жидком

состоянии в естественных условиях находятся такие полезные ископаемые, как нефть, самородная ртуть, растворы минералов, свободная и физически связанная вода. В газообразном состоянии — горючие газы.

Состояние минералов и горных пород определяется параметрами состояния, которые подразделяются на интенсивные (не зависящие от количества вещества — давление, температура) и экстенсивные (зависящие от количества вещества — объем, теплоемкость, масса).

Экстенсивные параметры, отнесенные к единице массы вещества, приобретают смысл интенсивных (удельный объем, удельная теплоемкость и др.).

Интенсивные параметры, которые определяют состояние термодинамической системы, называются термодинамическими параметрами состояния.

Основными термодинамическими параметрами являются температура, давление и удельный объем (или плотность) тела.

Температура T — это физическая величина, характеризующая состояние термодинамического равновесия системы. Температура всех частей изолированной термодинамической системы, находящейся в равновесии, одинакова.

Если система не находится в равновесии, то между ее частями, имеющими различную температуру, происходит теплообмен. Более высокой температурой обладают те тела, у которых средняя кинетическая энергия молекул и атомов выше.

Теоретически температура определяется на основе второго закона термодинамики как производная от энергии тела по его энтропии. Температура, определяемая таким образом, всегда положительна, ее называют абсолютной температурой или температурой по термодинамической температурной шкале (обозначается T). За единицу абсолютной температуры в системе СИ принят кельвин (К) — это $1/273,15$ часть термодинамической температуры тройной точки воды.

Существуют и другие температурные шкалы: Цельсия ($^{\circ}\text{C}$), Фаренгейта ($^{\circ}\text{F}$), Реомюра ($^{\circ}\text{R}$), Ренкина ($^{\circ}\text{Ra}$).

Наибольшее распространение получила международная стоградусная температурная шкала (шкала Цельсия). В ней за один градус принята одна сотая часть в интервале от температуры плавления льда до температуры кипения воды при атмосферном давлении. Переход от температур по Цельсию к другим температурным шкалам следующий: $\text{K} - t^{\circ}\text{C} + 273,15$; $^{\circ}\text{F} - 1,8t^{\circ}\text{C} + 32$; $^{\circ}\text{R} - 0,8t^{\circ}\text{C}$; $^{\circ}\text{Ra} - 1,8(t^{\circ}\text{C} + 273,15)$.

Следует помнить, что $1^{\circ}\text{C} - 1 \text{ K}$. Давление P представляет собой силу, действующую по нормали к поверхности тела, отнесенную к единице площади этой поверхности.

Единицами измерения давления являются: паскаль (Па) — давление, вызванное силой 1 Н, равномерно распределенной по поверхности площадью 1 м^2 ; бар, техническая атмосфера ($\text{кгс}/\text{см}^2$); миллиметр водяного столба (мм вод. ст.). Единицей измерения давления в системе СИ является паскаль.

Переход от паскалей к другим единицам измерения давления следующий: 1 бар = 105 Па; 1 мм рт. ст. - 133,3 Па; 1 мм вод. ст. = 9,8067 Па; 1 атм = 1,033 кг/см² - 1,013 105 Па.

Различают абсолютное давление и избыточное. Абсолютное давление складывается из избыточного и атмосферного. Избыточное 21 ГЛАВА 1 давление — это технический термин, применяется для оценки давления, создаваемого машиной, например, вентилятором, компрессором, насосом.

Удельным объемом v называется объем, занимаемый единицей массы вещества, $C(1.1)$ где V — объем, м³; G — масса вещества, кг. Размерность удельного объема м³ / кг или см³ / г.

Часто пользуются не удельным объемом, а плотностью вещества ρ , кг/м³

При отсутствии внешнего воздействия состояние горной породы как термодинамической системы может быть определено, если заданы два любых интенсивных параметра. Все остальные параметры являются однозначной функцией двух заданных параметров

Рассмотрим некоторый объем горной породы, находящейся внутри массива. При нагревании выделенного объема породы ее температура будет повышаться, изменяться внутренняя энергия и совершаться внешняя работа. Внутренняя энергия U (Дж) выделенного объема складывается из энергии поступательного и вращательного движения молекул, составляющих минералы, энергии внутримолекулярных колебаний, потенциальной энергии сил взаимодействия между молекулами.

Часть внутренней энергии выделенного объема горной породы при нагреве расходуется на разрыв межзерновых связей в неоднородных породах за счет внутренних термических напряжений, возникающих на границах минеральных зерен, в связи с различными значениями их модулей упругости и коэффициентов теплового расширения.

Внутренняя энергия термодинамической системы зависит только от параметров состояния и не зависит от того, каким путем были достигнуты эти параметры. Внутренняя энергия является экстенсивной характеристикой, так как она пропорциональна количеству вещества в термодинамической системе.

Величина $u = U/G$ (Дж/кг) называется удельной внутренней энергией и представляет собой внутреннюю энергию единицы массы вещества, которая является интенсивным параметром. Как и все экстенсивные параметры, внутренняя энергия является аддитивной величиной (аддитивными называются величины, для которых выполняется условие Z системы - $\sum Z_i$, где p — число составляющих $i = 1$ частей системы). Интенсивные величины свойством аддитивности не обладают. Начало отсчета внутренней энергии можно выбрать произвольно.

Величина внутренней энергии термодинамической системы однозначно определяется, если заданы любых два параметра состояния, т.е. $u=f(v,T)$; $u=f(p,T)$; $u=f(dQ/T - 0$

Энтропия является экстенсивным параметром и обладает свойством аддитивности. Энтропия системы, отнесенная к ее массе, называется удельной энтропией

Энтропия однозначно может быть определена, если заданы два любых параметра состояния,

ТЕПЛООБМЕН В ГОРНЫХ ВЫРАБОТКАХ

1. Требования к тепловому режиму в подземных выработках

Тепловой режим в подземных выработках характеризуется совокупностью термодинамических параметров воздуха, окружающего массива, горной массы, машин и людей. Основными термодинамическими параметрами для количественной оценки теплового режима шахт и рудников являются температура, энтальпия, влагосодержание, а также изменение этих параметров в течение года.

В конечном итоге тепловой режим шахт и рудников определяется температурой, влагосодержанием рудничного воздуха и скоростью его движения в подземных выработках. Как показывает практика, в настоящее время при глубинах подземных разработок свыше 900-1000 м искусственное охлаждение и осушение рудничного воздуха практически неизбежно. В условиях же разработки многолетнемерзлых пород, наоборот, необходимо подогревать рудничный воздух.

Таким образом, как в одном, так и другом случаях возникает необходимость регулирования теплового режима в подземных выработках.

Тепловой режим в подземных выработках должен обеспечивать комфортные условия труда человека, при которых бы он отдавал в окружающую среду столько тепла, сколько выделяется в его организме. В том случае, когда теплопотери человека больше, чем количество тепла, вырабатываемого в его организме, ему холодно, и наоборот. Следовательно, температура воздуха, его влажность и скорость в подземных выработках должны быть такими, при которых бы существовало равновесие между теплом, вырабатываемым в организме человека, и теплом, отдаваемым им в окружающую среду.

В организме человека в спокойном состоянии вырабатывается энергии около 320 кДж/ч (-90 Вт), при физической нагрузке средней напряженности — около 800 кДж/ч (-220 Вт) и при тяжелой физической нагрузке — до 1600 кДж/ч (-440 Вт).

Теплоотвод от человека через дыхание составляет 10%, а теплоотвод через кожу — 90% общего. Теплоотвод через кожу происходит путем лучеиспускания, конвекции и испарения пота.

Если температура воздуха выше температуры тела человека, то вдыхаемый воздух охлаждается в организме, отдавая ему часть своего тепла, и наоборот. В первом случае, дыхание затрудняет теплообмен между

человеком и окружающей средой. Во втором случае, особенно при температуре воздуха ниже допустимой, может наступить переохлаждение организма.

Теплообмен организма человека с окружающей средой путем лучеиспускания может происходить только в том случае, если температура стенок выработки ниже температуры его кожи, то есть 307-309 К (34-36°C). В противном случае лучеиспускание противодействует теплообмену. При температуре стенок выработки 293 К (20°C) путем лучеиспускания организм человека теряет около 120 кДж/ч (-33 Вт), а при температуре 313 К (40°C) получает около 40-60 кДж/ч (-11-15 Вт).

Удельный тепловой поток, отдаваемый кожей человека в окружающую среду конвекцией, пропорционален скорости движения воздуха и разности между его температурой и температурой кожи человека. Из этого следует, что для обеспечения теплообмена конвекцией необходимо регулировать температуру и скорость движения рудничного воздуха.

Равнозначным в количественном отношении с теплообменом конвекцией является отвод тепла из организма человека путем потовыделения. При выделении человеком 1 кг пота он теряет около 2260 кДж тепла и 8 г соли.

Потовыделение происходит только в том случае, когда влажность воздуха не выше влажности насыщения. В противном случае теплообмен путем потовыделения прекращается. Из этого следует, что регулирование влажности шахтного воздуха является одним из основных каналов управления тепловым режимом в подземных выработках.

Тепловой режим в подземных выработках должен поддерживаться таким, чтобы обеспечивался нормальный теплообмен организма человека в окружающей среде по всем четырем каналам: дыханием, лучеиспусканием, конвекцией и потовыделением. Канал теплообмена дыханием реализуется, когда температура воздуха ниже 310 К (37°C). Канал теплообмена лучеиспусканием — когда температура стенок выработок ниже 307 К (34°C). Так как температура воздуха в выработке на 2-3 градуса ниже температуры стенок, то температура шахтного воздуха по условиям теплообмена лучеиспусканием должна быть ниже 304-305 К (31 -32°C).

Канал теплообмена конвекцией реализуется, когда имеется движение воздуха в подземных выработках.

Канал теплообмена потовыделением реализуется, когда влажность воздуха в выработках ниже влажности насыщения.

Если закрыты все четыре канала теплообмена человека с окружающей средой в течении длительного времени, то наступает тепловая смерть.

Как показывает практика, комфортные условия труда по тепловому режиму при средней физической нагрузке на организм человека имеют место в том случае, когда температура, относительная влажность и скорость движения воздуха в подземных выработках соответственно равны 298 К (25°C), 80-90% и 4 м/с. Если, например, температура воздуха будет 301 К (28°C), то при прежних остальных его параметрах к концу семичасовой

рабочей смены температура тела человека поднимется до 300,1 К (37,1°C). Таким образом, регулирование теплообмена через вышеуказанные каналы необходимо осуществлять путем изменения температуры, влажности и скорости движения воздуха в подземных выработках.

Без регулирования рудничного микроклимата возможности сбалансирования количества вырабатываемого в организме человека тепла Q_4 с теплом Q_T , отдаваемым им во внешнюю среду, весьма ограничены. В какой-то степени это удастся осуществить с помощью спецодежды, которая в зависимости от рудничного микроклимата может быть легкой или утепленной.

При переходе из одного рудничного микроклимата в другой терморегуляционный аппарат человека старается сбалансировать величины Q_4 и Q_T , однако этот аппарат обладает некоторой инерционностью (10-15 мин) и поэтому резкие изменения параметров рудничного микроклимата и, в частности, температуры для организма человека весьма нежелательны.

Если $Q_T > Q_4$, то наблюдается переохлаждение организма человека, что приводит к простудным заболеваниям, а если $Q_T < Q_4$ — возрастает частота его дыхания, повышается температура и при длительном сохранении этого условия возникают необратимые изменения в организме человека, приводящие к ухудшению его здоровья.

ОТВЕТИТЬ НА ВОПРОСЫ:

1. Что такое термодинамическая система?
2. Приведите примеры термодинамических систем.
3. Перечислите основные параметры термодинамической системы.
4. Что такое тепловой режим?
5. Что такое тепловой обмен?
6. За счет каких факторов происходит теплообмен?
7. Назовите условия применения фильтрационно-дренажного оттаивания;
8. Как проводятся питающие и оросительные каналы?
9. Охарактеризуйте виды питания фильтрационного потока .