

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ПРОФИЛЮ
«ЭНЕРГОРЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ»
ОТРАСЛЕВОЙ СТУДЕНЧЕСКОЙ ОЛИМПИАДЫ «ГАЗПРОМ»

Второй этап

Уфа 2022

**Правила проведения второго этапа
по профилю «ЭНЕРГОРЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ»**

Второй этап олимпиады состоит из задач по шести разделам, составляющим область энерго- и ресурсосбережения в промышленности. Общее время проведения второго этапа олимпиады составляет 3 астрономических часа. При решении задач необходимо давать комментарии и объяснения выполняемых расчетов, строить графики и делать выводы, т.к. весь ход решения будет оцениваться.

ЗАДАНИЯ ОЧНОГО ЭТАПА:

№	Раздел, область знаний, учебная дисциплина	Кол-во баллов
1	Моделирование химико-технологических процессов Определение концентрации веществ по хроматограмме	10
2	Моделирование химико-технологических процессов Парная линейная корреляция	15
3	Химическая технология Тепловой баланс системы теплообменников	15
4	Промышленная экология Расчет суммарного валового и максимально разового выбросов загрязняющих веществ от цеха производства металлических изделий	10
5	Энергосбережение Подбор оптимального материала тепловой изоляции по параметрам толщины изоляции и общей требуемой массы теплоизоляционного материала.	15
6	Оборудование химических производств Определение критериев устойчивости и проверка условия устойчивости опоры	10
7	Защита от коррозии Определение скорости коррозии. Определение потери массы металла из-за коррозионных процессов.	10
8	Защита от коррозии Определение массового показателя коррозии	15
	ВСЕГО	100

Задача 1. Моделирование химико-технологических процессов

Определение концентрации веществ по хроматограмме

Ключевые слова по теме задачи

Хроматограмма, компонент, расшифровка хроматограмм, пик хроматограммы, расчет концентрации компонента, площадь элементарной площадки под хроматограммой, численные методы решения интегралов.

Рекомендуемая литература.

1. Сычев, С. Н. Высокоэффективная жидкостная хроматография. Аналитика, физическая химия, распознавание многокомпонентных систем / С.Н. Сычев, В.А. Гаврилина. - М.: Лань, 2013. - 256 с.
2. Измаилов, А. Ф. Численные методы оптимизации / А. Ф. Измаилов, М. В. Солодов. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005.
3. Умергалин Т.Г. Основы вычислительной математики [текст] : учеб. пособие / Т.Г. Умергалин; УГНТУ, каф. ВТИК. – Уфа: Изд-во УГНТУ, 2003.

Задача 2. Моделирование химико-технологических процессов

Парная линейная корреляция

Ключевые слова по теме задачи

Обработка результатов экспериментальных данных, корреляционный анализ, парная линейная корреляция, коэффициент линейной корреляции, уравнение регрессии.

Рекомендуемая литература.

1. Волков, Е.А. Численные методы [Электронный ресурс] : учеб. – Электрон. дан. – СПб: Лань, 2008.
2. Копченова Н.В. Вычислительная математика в примерах и задачах [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Н.В. Копченова, И.А. Марон – Электрон. дан. – СПб: Лань, 2009.

3. Аттеков А. В. Методы оптимизации / А. В. Аттеков, С. В. Галкин, В. С. Зарубин. М.: изд-во МГТУ им Н. Э. Баумана, 2003.

4. В. И. Губин, В. Н. Осташков. Статистические методы обработки экспериментальных данных: Учеб. пособие для студентов технических вузов.— Тюмень: Изд-во «ТюмГНГУ», 2007.— 202 с.

Задача 3. Химическая технология

Тепловой баланс системы теплообменников

На технологических установках независимо от их назначения большую долю занимают теплообменные аппараты, потому что все технологические потоки требуется нагревать перед какими-то процессами (например, перед массообменными процессами) или охлаждать (например, после массообменных процессов. Нередко случается, что на установке одновременно присутствуют и потоки, которые требуют нагрева и которые требуют охлаждения. Для таких потоков зачастую используют рекуперативные теплообменники, но требуется подбирать количество этих аппаратов и их тепловую мощность. Кроме этого, требуемое количество тепла для нагрева холодных потоков всегда не совпадает с количеством тепла, которое необходимо забрать у горячих потоков, поэтому используются теплообменники или другие тепловые агрегаты (например, печи) для дополнительного нагрева или охлаждения с использованием специальных тепло или холодоносителей.

Для определения количества теплообменников и их тепловой мощности требуется решить задачу системы тепловых балансов, чтобы установить расходы потоков и их температуры на входе и выходе из теплообменного аппарата.

Тепловой баланс простого теплообменного аппарата определяется уравнением (под простым теплообменным аппаратом понимаем

теплообменник, в котором взаимодействуют только два технологических потока):

$$Q_{\Gamma} = Q_{\chi} + Q_{\text{пот}}$$

где Q_{Γ} – количество тепла, отдаваемое горячим потоком, Вт;

Q_{χ} – количество тепла, которое возьмет холодный поток, Вт;

$Q_{\text{пот}}$ – количество тепловых потерь тепла в окружающую среду, Вт.

Количество потерь тепла зависит от исполнения тепловой изоляции теплообменного аппарата, ее эффективности и толщины. В случае, если в каком-то случае допускается пренебречь тепловыми потерями, то уравнение теплового баланса упростится до следующего:

$$Q_{\Gamma} = Q_{\chi}$$

Количество тепла, отдаваемое или принимаемое потоком без фазового превращения самого потока, определяется уравнением:

$$Q = c \cdot M \cdot (T_{\text{н}} - T_{\text{к}})$$

где c – средняя удельная теплоемкость потока в заданном интервале температур, Дж/кгК;

M – массовый расход потока, кг/с;

$T_{\text{н}}$, $T_{\text{к}}$ – начало и конец температурного интервала нагрева или охлаждения потока, °С.

Таким образом, тепловой баланс простого теплообменного аппарата, предназначенного для нагрева и охлаждения потоков без их фазового превращения и без учета тепловых потерь, определяется уравнением:

$$c_{\Gamma} \cdot M_{\Gamma} \cdot (T_{\text{н.}\Gamma} - T_{\text{к.}\Gamma}) = c_{\chi} \cdot M_{\chi} \cdot (T_{\text{к.}\chi} - T_{\text{н.}\chi})$$

где «Г» и «Х» - относятся соответственно к горячему и холодному потокам.

В задаче потребуются уметь выражать искомые температуры и расходы потоков для составления теплового баланса системы теплообменников. Под системой теплообменников понимается несколько теплообменных аппаратов, связанных между собой температурами перевала потоков.

Ключевые слова по теме задачи

Температурно-энтальпийные диаграммы, удельная теплоемкость и потоковая теплоемкость, кривые горячих и холодных потоков на температурно-энтальпийной диаграмме.

Рекомендуемая литература.

1. Смит Р., Клемеш Й., Товажнянский Л.Л., Капустенко П.А., Ульев Л.М. Основы интеграции тепловых процессов. Харьков. НТУ “ХПИ”. – Библиотека журнала ИТЭ. – Харьков: НТУ “ХПИ”. 2000. – 458 с.

2. <https://gisee.ru/articles/sub-methods/778/> Государственная информационная система в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности.

Задача 4. Промышленная экология

Расчет суммарного валового и максимально разового выбросов загрязняющих веществ от цеха производства металлических изделий

Цеха производства металлических изделий, как правило, включают металлообрабатывающие станки, а также несколько сварочных постов.

При работе станков наибольшим пылевыведением сопровождаются процессы абразивной обработки металлов без применения СОЖ. Образующаяся при этом пыль на 30-40% по массе представляет материал абразивного круга и на 60-70% - материал обрабатываемого изделия. Интенсивность пылевыведения при этом значительно зависит от размеров абразивного инструмента и ряда технологических параметров.

Работа сварочных постов сопровождается образованием сварочного аэрозоля, содержащего пыль неорганическую, оксиды железа, соединения марганца и хрома, а также фтористого водорода, диоксида азота и окиси углерода.

Поэтому для выбора эффективного газоочистного оборудования необходимо знать общее количество образующихся в процессе работы цеха загрязняющих веществ.

Ключевые слова по теме задания:

Металлообрабатывающие станки, абразивная обработка металлов, сварочный пост, сварочный аэрозоль, СОЖ, выбросы от сварки, выбросы от металлообработки.

Рекомендуемая литература.

1. ГОСТ 32602-2014. Правила расчета выбросов загрязняющих веществ в атмосферу при механической обработке металлов на основе удельных показателей

2. ГОСТ Р 56164-2014. Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу. Метод расчета выбросов при сварочных работах на основе удельных показателей

Задача № 5. Энергосбережение

Подбор оптимального материала тепловой изоляции по параметрам толщины изоляции и общей требуемой массы теплоизоляционного материала

Тепловой изоляцией покрывают оборудование и трубопроводы. Тепловая изоляция предназначена для решения трех основных задач:

- 1) Сокращения потерь тепла в окружающую среду;
- 2) Сохранение параметров потоков (заданной температуры потока);
- 3) Обеспечение безопасности человека от ожогов при соприкосновении с поверхностью очень горячего оборудования.

Какова бы ни была задача, расчет тепловой изоляции – это определение требуемой ее толщины, который базируется на следующем уравнении теплопередачи:

$$q = \frac{t_{cp} - t_o}{R_{BH} + R_{CT} + R_{ИЗ} + R_H}$$

где R – термическое сопротивление, величина обратная коэффициенту теплопередачи, $R=1/K$;

$R_{вн}; R_{ст}; R_{из}; R_{н}$ – термическое сопротивление от среды ко внутренней поверхности стенки, самой стенки, слоя тепловой изоляции и от наружной поверхности стенки к окружающей среде;

$t_{ср}; t_o$ – температура среды в аппарате и температура окружающей среды;

q – плотность теплового потока.

Поскольку термическое сопротивление от внутренней среды ко внутренней поверхности стенки ($R_{вн}$) и термическое сопротивление самой стенки ($R_{ст}$) много меньше, чем два других термических сопротивления, то при расчете тепловой изоляции ими обычно пренебрегают. Поэтому уравнение приобретает вид:

$$q = \frac{t_{ср} - t_o}{R_{из} + R_{н}}$$

Термическое сопротивление слоя изоляции определяется уравнением:

$$R_{из} = \frac{\delta_{из}}{\lambda_{из}}$$

где $\delta_{из}$ – толщина слоя тепловой изоляции;

$\lambda_{из}$ – коэффициент теплопроводности тепловой изоляции.

Термическое сопротивление от наружной поверхности стенки к окружающей среде определяется уравнением:

$$R_{из} = \frac{1}{\alpha_o}$$

где α_o – коэффициент теплоотдачи со стороны окружающей среды.

При определении толщины изоляции по первой задаче, т.е. для общего сокращения потерь тепла в окружающую среду, расчет обычно ведут по среднегодовой температуре воздуха в данном городе (регионе) установки оборудования и трубопроводов. Т.е. принимают t_o =средняя температура за год. Для других задач в качестве расчетной температуры воздуха принимаются либо температура самого жаркого месяца, либо самого холодного, в зависимости от условий.

При определении толщины изоляции по первой задаче, т.е. для общего сокращения потерь тепла в окружающую среду, расчет ведут по нормированной плотности теплового потока с поверхности. Стандартизированные значения плотности теплового потока (q) в зависимости от условий работы, диаметра аппарата и температуры рабочей среды в нем приведены в нормативном документе. Для других задач тепловой изоляции, опорными являются либо допустимое снижение температуры вещества в аппарате, либо допустимая температура поверхности для безопасности человека.

Таким образом, для определения толщины изоляции по требованию общего сокращения тепловых потерь в окружающую среду, преобразуем уравнение теплопередачи:

$$\delta_{р.из} = \lambda_{из} \cdot \left(\frac{T_{ср} - T_{окр}}{q_n} - \frac{1}{\alpha_o} \right)$$

где $\delta_{р.из}$ – расчетная толщина тепловой изоляции;

$T_{ср}$ – температура среды в аппарате;

T_o – среднегодовая температура окружающей среды;

q_n – нормированная плотность теплового потока;

α_o – коэффициент теплоотдачи со стороны воздуха окружающей среды.

После определения расчетной толщины необходимо принять окончательную исполнительную толщину изоляции по следующим правилам: кратно 10 мм, но не менее 20 мм, при этом допускается принимать ближайшую более низкую толщину теплоизоляционного слоя, если разница между расчетной и номенклатурной толщиной не превышает 3 мм.

Следует отметить, что формула расчетной толщины тепловой изоляции, приведенная в данном пособии, не учитывает двух поправочных коэффициентов, полагая их равными единице. Это коэффициент потерь тепла через мостики холода и коэффициент регионального поправочного коэффициента к нормированным значениям плотности теплового потока.

Для решения задачи потребуется кроме умения рассчитать толщину тепловой изоляции и принятия исполнительного значения толщины, также определить объем требуемого теплоизоляционного слоя, суммарную массу тепловой изоляции и ее стоимость. Для определения этих параметров будут заданы все необходимые исходные данные.

Рекомендуемая литература:

1) СП 61.13330.2012 Свод правил. Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов. <https://docs.cntd.ru/document/1200091050>

Задача 6. Оборудование химических производств

Условие устойчивости

Большинство технологического оборудования представляет собой сосуды и аппараты оболочкового типа, состоящих из тонкостенных обечаек цилиндрической или конической формы и днищ. При проектировании оборудования определяются толщины и другие размеры элементов отвечающие за надежность конструкции. Надежность – это очень широкое понятие, и оно включает в себя такие понятия как прочность и устойчивость. В данном случае речь идет об устойчивости формы оболочек. Четыре вида нагрузок могут привести к потере устойчивости формы оболочки. Устойчивость формы – это способность конструкции сохранять положение равновесия под воздействием внешних нагрузок. Потеря устойчивости сопровождается развитием деформаций в виде вмятин различных форм. Потеря устойчивости возникает при возникновении сжимающих напряжений в элементах. Потеря устойчивости может наступить раньше, чем потеря прочности, и при этом образованные вмятины стремительно развиваются и не восстановятся даже при снятии нагрузок.

Условие устойчивости в общем виде записывается выражением:

$$\frac{F}{[F]} + \frac{p}{[p]} + \frac{M}{[M]} + \left(\frac{Q}{[Q]}\right)^2 \leq 1$$

Где F , p , M , Q – действующие нагрузки, которые могут привести к потере устойчивости формы (соответственно, осевая сжимающая сила наружное давление, изгибающий момент и поперечная сила);

$[F]$, $[p]$, $[M]$, $[Q]$ – допускаемые нагрузки.

Отношение действующей нагрузке к допускаемой называют критерием устойчивости. Например, критерий устойчивости от осевой сжимающей силы запишем в виде:

$$\frac{F}{[F]}$$

Таким образом, условие устойчивости можно описать как сумма критериев устойчивости различных внешних нагрузок не должна превышать единицы.

Допускаемые нагрузки – это уменьшенные на некоторый регламентированный коэффициент запаса устойчивости значения критических нагрузок.

Критическая нагрузка – это внешняя нагрузка, достигнув значения которой произойдет потеря устойчивости формы оболочки.

Обозначив вместо перечисленных выше нагрузок буквой N любую из нагрузок, которая может привести к потере устойчивости, запишем связь между допускаемой нагрузкой, критической нагрузкой и коэффициентов запаса по устойчивости:

$$[N] = \frac{N_{кр}}{n_y}$$

где $N_{кр}$ – критическое значение нагрузки;

$[N]$ – допускаемое значение нагрузки;

n_y – коэффициент запаса по устойчивости;

Для решения задачи необходимо знать и уметь:

- 1) Определять критерии устойчивости и проверять условие устойчивости.
- 2) Идентифицировать внешние и внутренние факторы как нагрузки, например, атмосферное давление является нагрузкой от наружного давления

для вакуумного сосуда, вес горизонтальной емкости является поперечной силой для ее корпуса и приведет к изгибающему моменту, а вес вертикального сосуда является осевой сжимающей силой для его опоры, если сосуд не подвешен, а установлен на фундаменте.

Ключевые слова по теме задания:

Надежность, устойчивость, условие устойчивости, допускаемая и критическая нагрузка.

Рекомендуемая литература.

1. ГОСТ 34233.1-2017 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет цилиндрических и конических обечаек, выпуклых и плоских днищ и крышек. <https://docs.cntd.ru/document/556344845>

2. Конструирование и расчет технологического оборудования. Устойчивость. <https://youtu.be/Ies8MoA1juk>

Задача 7-8. Защита от коррозии

Определение скорости коррозии. Определение потери массы металла из-за коррозионных процессов. Определение массового показателя коррозии

При гравиметрическом методе скорость коррозии характеризуется массовым показателем K_m (г/м²·час):

$$K_m = \frac{m_0 - m_1}{S\tau},$$

где m_0 – масса образца до испытания, г;

m_1 – масса образца после испытания, г;

S – начальная площадь поверхности образца, м²;

τ – время экспозиции, час.

Если изменение массы образца прямо пропорционально глубине проникновения коррозии в условиях общей коррозии, то массовый показатель часто пересчитывают в глубинный (Π), который характеризует утонение образца в единицу времени, или проникновение коррозии в мм/год:

$$\Pi = \frac{K_m \times 8760}{7,87} \times 10^{-3},$$

где Π – глубинный показатель скорости коррозии, мм/год;

8760 – количество часов в году;

7,87 – плотность железа, г/см³.

Ключевые слова по теме задания:

Глубинный и массовый показатель коррозии, разрушение металла, утонение образца, электрохимическая коррозия, коррозионная среда, число Фарадея, определение эффективности защиты от коррозии, анодные и катодные участки коррозионного гальванического элемента.

Рекомендуемая литература.

1. Семенова, И.В. Коррозия и защита от коррозии [Текст]: учеб. пособие для вузов / И.В. Семенова, Г.М. Флорианович, А.В. Хорошилов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Физматлит, 2006. – 376 с.
2. Гареев А.Г., Ризванов Р.Г., Насибуллина О.А. Коррозия и защита металлов в нефтегазовой отрасли / под ред. А.Г. Гареева. – Уфа: Гилем. Башк.энцикл., 2016. – 352 с.
3. Кеше Г. Коррозия металлов. Физико-химические принципы и актуальные проблемы. – М.: Metallurgia, 1984. – 400 с.