

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

**Второй этап**

Уфа 2024

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

Второй этап олимпиады состоит из задач по четырем 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	<b>Химическая технология и оптимизация химико-технологических процессов</b> Составление материального баланса	15
2	<b>Химическая технология и оптимизация химико-технологических процессов</b> Моделирование кинетики реакции	10
3	<b>Промышленная экология</b> Расчет суммарного выброса загрязняющих веществ в атмосферу от деятельности АЗС	15
4	<b>Промышленная экология</b> Расчет выбросов загрязняющих веществ при механической обработке древесины до и после применения пылеулавливающего аппарата	10
5	<b>Оборудование химических производств</b> Расчет многослойных стенок для корпусов нефтегазового оборудования	10
6	<b>Оборудование химических производств</b> Расчет многослойной тепловой изоляции	15
7	<b>Защита от коррозии.</b> Определение защитных свойств ингибиторов коррозии	15
8	<b>Защита от коррозии</b> Определение скорости коррозии после применения ингибитора коррозии	10
	<b>ВСЕГО</b>	<b>100</b>

## **Задача 1. Химическая технология и оптимизация химико-технологических процессов**

### **Составление материального баланса.**

#### Ключевые слова по теме задачи:

Материальный баланс, стехиометрический коэффициент, конверсия, молекулярная масса.

#### Рекомендуемая литература:

1. Бесков В.С. Общая химическая технология. Учебник для ВУЗов. М.: ИКЦ «Академкнига», 2005. - 452 с.
2. Кононова Г.Н., Сафонов В.В., Чабан Н.Г. Разработка алгоритма и расчет материального баланса химико-технологической системы. Москва. 1995.
3. Бесков В.С. Материальный баланс химико-технологической системы. М. РХТУ им. Менделеева, 2003.

## **Задача 2. Химическая технология и оптимизация химико-технологических процессов**

### **Моделирование кинетики реакции.**

#### Ключевые слова по теме задачи:

Концентрация веществ в потоке, дифференциальные уравнения, методы решения дифференциальных уравнений.

#### 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. Промышленная экология**

#### **Расчет суммарного выброса загрязняющих веществ в атмосферу от деятельности АЗС**

При деятельности АЗС, как правило, рассматриваются следующие процессы: одновременные закачка (хранение) топлива в резервуар и баки автомобилей, проливы нефтепродуктов (стекание нефтепродуктов со стенок сливных шлангов и при стекании нефтепродуктов со стенок заправочных шлангов).

#### Ключевые слова по теме задания:

АЗС, пары нефтепродуктов, паровоздушная смесь, закачка резервуаров, заправка баков, удельные выбросы, проливы.

#### Рекомендуемая литература:

1. «Методические указания по определению выбросов загрязняющих веществ в атмосферу из резервуаров», утвержденные приказом Госкомэкологии России N 199 от 08.04.1998. Учтены дополнения от 1999 г., введенные НИИ Атмосфера. Письмо НИИ Атмосфера от 29.09.2000 г. по дополнению расчета выбросов на АЗС.

2. «Методическое пособие по расчету, нормированию и контролю выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух (Дополненное и переработанное)», НИИ Атмосфера, Санкт-Петербург, 2012 год.

3. Методическое письмо НИИ Атмосфера №07-2-465/15-0 от 06.08.2015

### **Задача 4. Промышленная экология**

**Расчет выбросов загрязняющих веществ при механической обработке древесины до и после применения пылеулавливающего аппарата**

При производстве брусковых и других деталей мебели в атмосферный воздух выделяется древесная пыль. Для снижения негативного воздействия на окружающую среду, в частности для уменьшения максимально-разового и валового выбросов применяются пылеулавливающие аппараты с определенной степенью очистки.

Ключевые слова по теме задания:

Обработка древесины, древесная пыль, пылеулавливающий аппарат, степень очистки.

Рекомендуемая литература:

1. «Методические указания по расчету выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух предприятиями деревообрабатывающей промышленности», НИИ Атмосфера, Санкт-Петербург, 2015
2. Методическое письмо №07-2-280/16-0 от 14.06.2016, НИИ Атмосфера

**Задача № 5-6. Оборудование химических производств**

Задачами энерго и ресурсосбережения в вопросах оборудования нефтегазопереработки и нефтехимии являются задачи обеспечения прочности и минимизации потерь тепла. При этом не всегда возможно и допустимо решить некоторые задачи в одно решение, требуются вопросы оптимизации и подбора параметров комбинированием и сочетанием параметров.

В данном цикле задач предлагаются вопросы применения комбинирования и многослойности. Выполнение тех или иных конструкций методом многослойного изготовления имеют как минусы, так и плюсы. Слабой стороной является технологичность изготовления, а положительным моментом – это возможность применения материалов меньшей толщины и укрепление конструкции перекрытием стыкования швов на нижележащем уровне.

Задачи по оптимальному подбору многослойных конструкций являются кейсовыми, т.е. не имеют единственно верного решения. При оценивании

будет приниматься во внимание логически правильная постановка принимаемых решений и оптимальность полученного результата.

### **Проектирование многослойных стенок для сосудов высокого давления.**

Сосуды и аппараты высокого давления, предназначены для работы под действием внутреннего давления свыше 10 до 130 МПа и применяются в газовой, нефтяной, нефтехимической, химической промышленности, производстве минеральных удобрений и других смежных отраслях промышленности. Корпуса данных сосудов и аппаратов могут быть коваными, кованосварными, многослойными и однослойными, которые изготавливаются из поковок и листового проката.

Сосуды и аппараты высокого давления считаются толстостенными оболочками, при этом они также имеют ограничение по соотношению толщины стенки и диаметра оболочки:

$$\frac{S-c}{D} \leq 0,4$$

Определение толщины стенки по безмоментной теории расчета невозможно, так как при значительной толщине стенки следует учитывать действие радиального напряжения в материале оболочки. В нормы и методы расчета толстостенных оболочек вводится понятие коэффициента толстостенности:

$$\beta = \frac{D + 2(S-c)}{D}$$

Коэффициент толстостенности – это отношение наружного диаметра к внутреннему диаметру данной оболочки. При этом возникает затруднение определять толщину стенки используя коэффициент толстостенности, который в свою очередь зависит от толщины стенки. Эмпирическим путем получено значение расчетного значения коэффициента толстостенности, который зависит только от нагрузки внутреннего избыточного давления и способности материала сопротивляться нагрузке:

$$\beta_R = \exp\left(\frac{p}{[\sigma]\phi}\right),$$

В качестве проверки условия прочности в сосудах и аппаратах высокого давления используется метод расчета допускаемого давления:

$$[p] = [\sigma] \phi \ln \beta,$$

Тонкостенные сосуды и аппараты в большинстве случаев изготавливаются из листовой стали (прокат листовой горячекатаный по ГОСТ 19903-2015. Толщины листов, даже толстостенных, по данному нормативному документу ограничены: для проката, изготавливаемого в листах толщина стенки может быть до 160 мм, а для проката, изготавливаемого в рулонах, толщина стенки может быть до 25 мм. Что существенно ограничивает применение листового стального проката для изготовления сосудов и аппаратов высокого давления. И для сосудов, изготавливаемых из листов становится ограничением изготовление только до диаметра 400 мм, но при меньшем диаметре цилиндрические оболочки и не изготавливают вальцеванием. Получается, что все оболочки сосудов и аппаратов высокого давления должны быть преимущественно коваными или кованосварными.

Решением данной проблемы является изготовление многослойных оболочек, состоящих из центральной оболочки, оболочек внутренних слоев и внешней оболочки. Для повышения прочности и ресурсосбережения оболочки слоев могут быть выполнены из разных материалов по прочностным свойствам. В этом случае допускаемое напряжение многослойной конструкции определяется по прочности материала входящих слоев с учетом вносимой по толщине стенки слоя доле сопротивления нагрузке.

Внутренний первый слой называется центральной обечайки. Она изготавливается из листовой стали. Установлено требование к толщине стенки центральной обечайки, которая должна быть не менее трех толщин промежуточных слоев рулонирования.

Внешний слой называется кожух многослойной обечайки. Кожух также изготавливается из листовой стали. Рекомендацией по проектированию этой оболочки является толщина не менее двух толщин промежуточных оболочек.

Внутренние слои выполняются рулонированным набором до заданной толщины. Внутренние слои могут быть выполнены из стали изготавливаемой в рулонах.

$$S_M = S_{Ц} + S_C + S_K$$

$S_M$  – исполнительная толщина многослойной цилиндрической обечайки, мм;

(Общее число слоев должно быть не менее семи)

$S_{Ц}$  – исполнительная толщина центральной обечайки, мм; (толщина не менее суммарной толщины трех слоев навивки)

$S_C$  – общая исполнительная толщина слоев навивки, расположенных между центральной обечайкой и кожухом, мм;

$S_K$  – исполнительная толщина наружного кожуха многослойной обечайки, мм (толщина не менее суммарной толщины двух слоев навивки)

Таким образом, решен вопрос проектирования сосудов и аппаратов относительно большого диаметра из листового материала.

### **Проектирование многослойных конструкций тепловой изоляции**

Многослойная тепловая изоляция также может быть решением вопроса реализации большой толщины тепловой изоляции. Кроме этого стыковое соединение слоев изоляции, а также другие элементы конструкции, становятся мостиками холода и снижают тепловую эффективность в целом, поэтому применение принципа многослойности позволяет снизить потери тепла на стыках.

Нормативный документ проектирования тепловой изоляции предусматривает снижение эффективности от применения однослойной конструкции тепловой изоляции и устанавливает ограничение на возможность применения такого материала. Для поверхностей с температурой выше 300 °С не допускается применение однослойных конструкций тепловой изоляции.

Расчет толщины теплоизоляционного слоя, состоящей из двух и более слоев разнородных материалов, следует проводить исходя из того, что межслойная температура не превышает максимальную температуру применения теплоизоляционного материала последующих слоев. Толщину каждого слоя рассчитывают отдельно.

Расчетная толщина тепловой изоляции по нормированной плотности теплового потока для изоляции однослойной конструкции:

$$\delta_{\text{из}} = \lambda_{\text{из}} \left[ \frac{t_{\text{ср}} - t_{\text{окр}}}{q_n} - \frac{1}{\alpha_{\text{окр}}} \right]$$

$\lambda_{\text{из}}$  – коэффициент теплопроводности тепловой изоляции, принимается по средней температуре в слое изоляции, рассчитывается по формулам в таблице характеристик материала, Вт/(м°С)

$t_{\text{из}}$  – средняя температура в слое изоляции, принимается среднее значение на поверхностях слоя изоляции, °С.

При расчете толщины промежуточных слоев тепловой изоляции не учитывают теплоотдачи на поверхности изоляции к окружающей среде. Определить расчетную толщину первого слоя изоляции можно по формуле:

$$\delta_{\text{р1}} = \lambda_{\text{из1}} \left[ \frac{t_{\text{среды}} - t_{1-2}}{q_n} \right]$$

$t_{\text{среды}}$ ;  $t_{1-2}$  – температуры среды в аппарате и температуре на границе двух смежных слоев изоляции, °С.

Определить расчетную толщину второго и последующих слоев можно по формуле:

$$\delta_{\text{р2}} = \lambda_{\text{из2}} \left[ \frac{t_{1-2} - t_{2-3}}{q_n} \right]$$

Расчетная толщина завершающего слоя тепловой изоляции по нормированной плотности теплового потока с учетом теплоотдачи к окружающей среде составит:

$$\delta_{\text{р}} = \lambda_{\text{из}} \left[ \frac{t_{i-1} - t_{\text{окр}}}{q_n} - \frac{1}{\alpha_{\text{окр}}} \right]$$

$t_{i-1}$  – температура на границе между слоями на предшествующем слое, °С.

Также следует учитывать, что заказывать и покупать тепловую изоляцию потребуется большей толщины, чем получено расчетным путем. Это из-за

уплотняемости материала. Каждый материал тепловой изоляции требуется взять большей толщины и при монтаже на площадке перед пуском объекта материал примет значение толщины близкой к проектной. Таким образом не следует округлять полученное расчетное значение толщины слоев изоляции. Толщину слоев изоляции следует округлять при пересчете расчетной толщины слоя с учетом сжимаемости материала и принимать ближайшее к стандартной значение с кратностью по толщине до 10 мм.

Соотношение толщины слоя изоляции с учетом коэффициента сжатия:

$$\delta_{\text{из}} = \delta_{\text{р}} \cdot K_{\text{с}}$$

$\delta_{\text{из}}$  – толщина изоляции до монтажа на оборудование, округлить с точностью до 10 мм;

$\delta_{\text{р}}$  – расчетная толщина изоляции после монтажа на оборудование (сжатая), мм;

$K_{\text{с}}$  – коэффициент сжатия теплоизоляционного материала.

#### Рекомендуемая литература:

- 1) ГОСТ Р 54803-2011 Сосуды и аппараты сварные высокого давления. Общие технические требования.
- 2) ГОСТ Р 54522-2011 Сосуды и аппараты высокого давления. Нормы и методы расчета на прочность. Рекомендации по конструированию.
- 3) ГОСТ 19903-2015 Прокат листовой горячекатаный. Сортамент.
- 4) СП 61.13330.2012 Свод правил Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов Актуализированная редакция СНиП 41-03-2003

### **Задача 7-8. Защита от коррозии**

**Определение защитных свойств ингибиторов коррозии. Определение скорости коррозии после применения ингибитора коррозии.**

При гравиметрическом методе скорость коррозии характеризуется массовым показателем  $K_m$  (г/м<sup>2</sup>·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, м<sup>2</sup>;

$\tau$  – время экспозиции, час.

Токовый показатель коррозии  $i$  (А/м<sup>2</sup>) и массовый показатель коррозии  $K_m^-$  (г/(м<sup>2</sup>·ч)) связаны уравнением:

$$i = K_m^- \frac{nF}{A_{Me}}$$

где  $i$  – токовый показатель коррозии, А/м<sup>2</sup>;

$K_m^-$  – массовый показатель коррозии, г/(м<sup>2</sup>·ч));

$n$  – валентность металла;

$F$  – число Фарадея,  $F=26,8$  А·ч/моль;

$A_{Me}$  – атомная масса металла,  $A_{Me} = 56$  г/моль;

Массовый показатель коррозии определяется:

$$K_m^- = \frac{iA_{Me}}{nF}$$

Если изменение массы образца прямо пропорционально глубине проникновения коррозии в условиях общей коррозии, то массовый показатель часто пересчитывают в глубинный ( $\Pi$ ), 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  $\Pi$  – глубинный показатель скорости коррозии, мм/год;

8760 – количество часов в году;

7,87 – плотность железа, г/см<sup>3</sup>.

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.