



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»

УТВЕРЖДАЮ  
Директор ИММиМ  
А.С. Савинов

09.02.2023 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

**СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ПОЛУЧЕНИЯ СИНТЕЗ-ГАЗА**

Направление подготовки (специальность)  
22.04.02 Metallurgy

Направленность (профиль/специализация) программы  
Химические технологии энергоносителей в металлургии

Уровень высшего образования - магистратура

Форма обучения  
очная

Институт/ факультет	Институт металлургии, машиностроения и материалообработки
Кафедра	Металлургии и химических технологий
Курс	2
Семестр	3

Магнитогорск  
2023 год





МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»

УТВЕРЖДАЮ  
Директор ИММиМ  
\_\_\_\_\_ А.С. Савинов

09.02.2023 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

***СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ПОЛУЧЕНИЯ СИНТЕЗ-ГАЗА***

Направление подготовки (специальность)  
22.04.02 Metallургия

Направленность (профиль/специализация) программы  
Химические технологии энергоносителей в металлургии

Уровень высшего образования - магистратура

Форма обучения  
очная

Институт/ факультет	Институт металлургии, машиностроения и материалообработки
Кафедра	Металлургии и химических технологий
Курс	2
Семестр	3

Магнитогорск  
2023 год

Рабочая программа составлена на основе ФГОС ВО - магистратура по направлению подготовки 22.04.02 Metallургия (приказ Минобрнауки России от 24.04.2018 г. № 308)

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры Metallургии и химических технологий

08.02.2023, протокол № 5

Зав. кафедрой \_\_\_\_\_ А.С. Харченко

Рабочая программа одобрена методической комиссией ИММиМ

09.02.2023 г. протокол № 5

Председатель \_\_\_\_\_ А.С. Савинов

Рабочая программа составлена:

доцент кафедры МиХТ, канд. хим. наук \_\_\_\_\_ С.А. Крылова

Рецензент:

доцент кафедры Химии, канд. техн. наук \_\_\_\_\_ Л.Г. Коляда

## Лист актуализации рабочей программы

---

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2024 - 2025 учебном году на заседании кафедры Металлургии и химических технологий

Протокол от \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_  
Зав. кафедрой \_\_\_\_\_ А.С. Харченко

---

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2025 - 2026 учебном году на заседании кафедры Металлургии и химических технологий

Протокол от \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_  
Зав. кафедрой \_\_\_\_\_ А.С. Харченко

### **1 Цели освоения дисциплины (модуля)**

получение студентами знаний о методах и сущности процессов получения синтез-газа и вариантах его применения; физико-химических особенностях поведения сырьевых материалов в технологических условиях, формирование практических умений и навыков использования основных теоретических закономерностей при выполнении техно-химических расчетов, формирование способности прогнозировать характер, свойства и область применения получаемых продуктов.

### **2 Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы**

Дисциплина Современные методы получения синтез-газа входит в часть учебного плана формируемую участниками образовательных отношений образовательной программы.

Для изучения дисциплины необходимы знания (умения, владения), сформированные в результате изучения дисциплин/ практик:

Общая химическая технология

Современные физико-химические методы исследования и анализа

Физическая химия пирометаллургических процессов

Экологические проблемы металлургического производства

Химическая технология энергоносителей в металлургии

Знания (умения, владения), полученные при изучении данной дисциплины будут необходимы для изучения дисциплин/практик:

Производственная - технологическая (производственно-технологическая) практика

Производственная - научно-исследовательская работа

### **3 Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины (модуля) и планируемые результаты обучения**

В результате освоения дисциплины (модуля) «Современные методы получения синтез-газа» обучающийся должен обладать следующими компетенциями:

Код индикатора	Индикатор достижения компетенции
ПК-2	Способен выполнять производственные задачи по выпуску товарной продукции топливно-энергетического комплекса
ПК-2.1	Оценивает параметры и режимы технологических процессов, вносит предложения по их совершенствованию, анализирует результаты производственной деятельности в топливно-энергетическом комплексе

#### 4. Структура, объём и содержание дисциплины (модуля)

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетных единиц 144 акад. часов, в том числе:

- контактная работа – 61,2 акад. часов;
- аудиторная – 57 акад. часов;
- внеаудиторная – 4,2 акад. часов;
- самостоятельная работа – 47,1 акад. часов;
- в форме практической подготовки – 0 акад. час;
- подготовка к экзамену – 35,7 акад. час

Форма аттестации - экзамен

Раздел/ тема дисциплины	Семестр	Аудиторная контактная работа (в акад. часах)			Самостоятельная работа студента	Вид самостоятельной работы	Форма текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации	Код компетенции
		Лек.	лаб. зан.	практ. зан.				
1. Введение								
1.1 Введение. Водород, синтез-газ: практическое применение и методы получения.	3	2			1	Самостоятельное изучение учебной и научной литературы. - Подготовка к собеседованию, подготовка к экзамену	Собеседование Экзамен	ПК-2.1
Итого по разделу		2			1			
2. Газификация угля и другого твердого сырья.								
2.1 Газификация угля. Физико-химическая сущность процесса. Примеры промышленных установок. Характеристика синтез-газа, полученного при газификации различного твердого сырья. Варианты использования синтез-газа. Промышленное применение технологий газификации топлива за рубежом	3	8		6	10	Самостоятельное изучение учебной и научной литературы. - Подготовка к практическому занятию, собеседованию, выполнение домашнего, подготовка к экзамену	Работа на практическом занятии, собеседование, Домашнее задание Экзамен	ПК-2.1
Итого по разделу		8		6	10			
3. Технологии получения синтез-газа из природного								

3.1 Очистка и кондиционирование природного газа Окислительный пиролиз природного газа (парциальное окисление метана) (POX) Паровая конверсия метана (SMR) Углекислотная конверсия природного газа Комбинирование традиционных способов - Автотермический риформинг (ATR) - Тройной риформинг Альтернативные пути окисления метана в синтез-газ Выделение чистого водорода из продуктов конверсии природного газа	3	16		8	16	Самостоятельное изучение учебной и научной литературы. - Подготовка к практическому занятию, собеседованию, выполнение домашнего задания, подготовка к экзамену	Работа на практическом занятии, собеседование, Домашнее задание Экзамен	ПК-2.1
Итого по разделу		16		8	16			
4. Получение синтез-газа из биомассы								
4.1 Получение синтез-газа из различных видов биомассы	3	4		2	6	Самостоятельное изучение учебной и научной литературы. - Подготовка к практическому занятию, собеседованию, выполнение домашнего задания, подготовка к экзамену	Работа на практическом занятии, собеседование, Домашнее задание Экзамен	ПК-2.1
Итого по разделу		4		2	6			
5. Получение синтез-газа с заданным СО-водородным числом								
5.1 Получение синтез-газа с заданным СО-водородным числом	3	4		1	6	Самостоятельное изучение учебной и научной литературы. - Подготовка к практическому занятию, собеседованию, выполнение домашнего задания, подготовка к экзамену	Работа на практическом занятии, собеседование, Домашнее задание Экзамен	ПК-2.1
Итого по разделу		4		1	6			
6. Получение синтез-газа на интегрированных металлургических предприятиях полного цикла								



6.1 Получение синтез-газа на интегрированных металлургических предприятиях полного цикла	3	4		2	8,1	Самостоятельное изучение учебной и научной литературы. - Подготовка к практическому занятию, собеседованию, выполнение домашнего задания, подготовка к экзамену	Работа на практическом занятии, собеседование, Домашнее задание Экзамен	ПК-2.1
Итого по разделу		4		2	8,1			
Итого за семестр		38		19	47,1		экзамен	
Итого по дисциплине		38		19	47,1		экзамен	

## **5 Образовательные технологии**

Проектирование обучения строится на основе следующих принципов:

- Обучение на основе интеграции с наукой и производством.
- Профессионально-творческая направленность обучения.
- Ориентированность обучения на личность.
- Ориентированность обучения на развитие опыта самообразовательной деятельности будущего специалиста.

Для достижения планируемых результатов обучения используются различные образовательные технологии:

1. Традиционные образовательные технологии: лекции, практические занятия.
2. Информационно-коммуникационные образовательные технологии: Лекции и практическое занятие в форме презентации – представление результатов с использованием специализированных программных сред.
3. Информационно-развивающие технологии, направленные на формирование системы знаний, запоминание и свободное оперирование ими. При самостоятельном изучении литературы применение современных информационных технологий для самостоятельного пополнения знаний, включая использование технических и электронных средств информации.
4. Деятельностные практико-ориентированные технологии, направленные на формирование системы профессиональных практических умений при разборе конкретных ситуаций, основанных на практических примерах, обеспечивающих возможность качественно выполнять профессиональную деятельность.
5. Развивающие проблемно-ориентированные технологии, направленные на формирование и развитие проблемного мышления, мыслительной активности, способности видеть и формулировать проблемы, выбирать способы и средства для их решения.
6. Интерактивные технологии: коллективное обсуждение какого-либо спорного вопроса, проблемы, выявление мнений в группе. Изложение проблем и их совместное решение.
7. Личностно-ориентированные технологии обучения, обеспечивающие в ходе учебного процесса учет различных способностей обучаемых, создание необходимых условий для развития их индивидуальных способностей, развитие активности личности в учебном процессе. Личностно-ориентированные технологии обучения реализуются в результате индивидуального общения преподавателя и студента, при выполнении домашних заданий, на консультациях.

## **6 Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся**

Представлено в приложении 1.

## **7 Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации**

Представлены в приложении 2.

## **8 Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)**

### **а) Основная литература:**

1. Технология переработки углеводородных газов : учебник для вузов / В. С. Арутюнов, И. А. Голубева, О. Л. Елисеев, Ф. Г. Жагфаров. — Москва : Издательство Юрайт, 2022. — 723 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-12398-2. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/495689> .
2. Копытов, В. В. Газификация конденсированных топлив. Вчера. Сегодня. Завтра... : учебное пособие / В. В. Копытов. - 2-е изд. - Москва ; Вологда :

Инфра-Инженерия, 2021. - 624 с. - ISBN 978-5-9729-0678-9. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1836546> – Режим доступа: по подписке.

**б) Дополнительная литература:**

Основы проектирования процессов переработки природных энергоносителей: Учебное пособие / Кравцов А.В., Самборская М.А., Вольф А.В., - 2-е изд. - Томск:Изд-во Томского политех. университета, 2015. - 166 с. / Издательство « ИНФРА-М» Электронно-библиотечная система. <https://znanium.com/read?id=268307>

Общая энергетика: водород в энергетике : учебное пособие для вузов / Р. В. Радченко, А. С. Мокрушин, В. В. Тюльпа ; под научной редакцией С. Е. Щеклеина. — Москва : Издательство Юрайт, 2022. — 230 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-07557-1. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/492147>

Игнатенков, В. И. Общая химическая технология: теория, примеры, задачи : учебное пособие для вузов / В. И. Игнатенков. — 2-е изд. — Москва : Издательство Юрайт, 2022. — 195 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-09222-6. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/489904> .

Крылова С. А. Введение в анализ и синтез химико-технологических систем [Элек-тронный ресурс] : учебное пособие / С. А. Крылова ; МГТУ. - Магнитогорск : МГТУ, 2016. - 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). - Режим доступа: <https://magtu.informsystema.ru/uploader/fileUpload?name=25.pdf&show=dcatalogues/1/1131464/25.pdf&view=true> . - Макрообъект.

**в) Методические указания:**

1. Смирнов, А. Н. Производство химических продуктов : учебное пособие. Ч. 1 / А. Н. Смирнов, С. А. Крылова, В. И. Сысоев ; МГТУ. - Магнитогорск : МГТУ, 2018. - 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). - URL: <https://magtu.informsystema.ru/uploader/fileUpload?name=3663.pdf&show=dcatalogues/1/1526324/3663.pdf&view=true> - Макрообъект. - Текст : электронный. - Сведения доступны также на CD-ROM.

2. Смирнов, А. Н. Теоретические основы химико-технологических процессов : учебное пособие / А. Н. Смирнов, С. А. Крылова, В. И. Сысоев ; МГТУ. - Магнитогорск : МГТУ, 2018. - 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). - Загл. с титул. экрана. - URL: <https://magtu.informsystema.ru/uploader/fileUpload?name=3515.pdf&show=dcatalogues/1/1514321/3515.pdf&view=true> . - Макрообъект. - Текст : электронный. - Сведения доступны также на CD-ROM.

**г) Программное обеспечение и Интернет-ресурсы:**

**Программное обеспечение**

Наименование ПО	№ договора	Срок действия лицензии
MS Office 2007 Professional	№ 135 от 17.09.2007	бессрочно
7Zip	свободно распространяемое ПО	бессрочно
FAR Manager	свободно распространяемое ПО	бессрочно
Браузер Mozilla Firefox	свободно распространяемое ПО	бессрочно

Браузер	свободно	бессрочно
Linux	свободно	бессрочно

### **Профессиональные базы данных и информационные справочные системы**

Название курса	Ссылка
Национальная информационно-аналитическая система – Российский индекс	URL: <a href="https://elibrary.ru/project_risc.asp">https://elibrary.ru/project_risc.asp</a>
Поисковая система Академия Google (Google Scholar)	URL: <a href="https://scholar.google.ru/">https://scholar.google.ru/</a>
Электронные ресурсы библиотеки МГТУ им. Г.И. Носова	<a href="https://magtu.informsystema.ru/Marc.html?locale=ru">https://magtu.informsystema.ru/Marc.html?locale=ru</a>
Университетская информационная система РОССИЯ	<a href="https://uisrussia.msu.ru">https://uisrussia.msu.ru</a>
Федеральное государственное бюджетное учреждение «Федеральный институт	URL: <a href="http://www1.fips.ru/">http://www1.fips.ru/</a>
Российская Государственная библиотека. Каталоги	<a href="https://www.rsl.ru/ru/4readers/catalogues/">https://www.rsl.ru/ru/4readers/catalogues/</a>

### **9 Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)**

Материально-техническое обеспечение дисциплины включает:

Учебная аудитория для проведения практических занятий, занятий семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации Доска, учебные столы, стулья, Мультимедийные средства хранения, передачи и представления информации.

Учебные аудитории для самостоятельной работы обучающихся Персональные компьютеры с пакетом MS Office, выходом в Интернет и с доступом в электронную информационно-образовательную среду университета

Помещения для хранения и профилактического обслуживания учебного оборудования Стеллажи для хранения оборудования

Методическая литература для учебных занятий

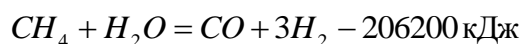
Инструменты для ремонта и профилактического обслуживания учебного оборудования

Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Примеры расчетных задач

**Пример** Составить материальный и тепловой баланс процесса получения водорода каталитической конверсией метана. Состав исходной газовой смеси (м<sup>3</sup>): CH<sub>4</sub> - 100,0; H<sub>2</sub>O - 250,0. Потери теплоты составляют 4% от прихода. Температура смеси на входе в реактор - 380°C, на выходе 800°C.

Процесс идет по реакции:



Решение.

По стехиометрии реакции, вещества CH<sub>4</sub> и H<sub>2</sub>O реагируют в объемном отношении 1:1. Из условия задачи следует, что водяной пар взят с избытком. Поэтому расчет выхода продуктов ведем по метану: объем CO равен объему CH<sub>4</sub> (100 м<sup>3</sup>), а объем H<sub>2</sub> - в 3 раза больше (300 м<sup>3</sup>). Объем пара, не вступившего в реакцию 250 - 100 = 150 м<sup>3</sup>. Внесем эти значения в табл. и определим массы газообразных веществ приходной и расходной части по формуле:

$$m_2 = \frac{V_2}{22,4} M_2$$

Молярные массы, кг/кмоль: CH<sub>4</sub> - 16; H<sub>2</sub>O - 18; CO - 28, H<sub>2</sub> - 2.

Таблица

Материальный баланс процесса для получения водорода

Приход			Расход		
Статья	кг	м <sup>3</sup>	Статья	кг	м <sup>3</sup>
CH <sub>4</sub>	71,4	100	CO	125,0	100
H <sub>2</sub> O	200,9	250	H <sub>2</sub>	26,8	300
Итого	272,3	350	H <sub>2</sub> O	120,5	150
			Итого	272,3	550

По данным материального баланса рассчитаем тепловой баланс.

Приход теплоты:

- физическая теплота парогазовой смеси  $Q_{\phi}^{cM}$  :

$$Q_{\phi}^{cM} = V_{CH_4} \cdot c_{CH_4} \cdot t'' + V_{H_2O} \cdot c_{H_2O} \cdot t'';$$

где  $c_{CH_4}, c_{H_2O}$  - средние теплоемкости метана и водяного пара при температуре  $t''$ , кДж / (м<sup>3</sup> · К):

$$Q_{\phi}^{cM} = 100 \cdot 1,965 \cdot 380 + 250 \cdot 1,555 \cdot 380 = 223000 \text{ кДж}$$

*Расход теплоты:*

- теплота, поглощенная в результате эндотермической реакции  $Q_p$  :

$$1 \text{ кмоль } CH_4 - 206200 \text{ кДж}$$

$$100 / 22,4 \text{ кмоль} - x, \quad x = 920536 \text{ кДж}$$

- теплота конвертированного газа  $Q_{\phi}^k$  :

с  $CO$  :

$$Q_{CO} = V_{CO} \cdot C_{CO} \cdot t^k = 100 \cdot 31,20 / 22,4 \cdot 800 = 111429 \text{ кДж}$$

$$\text{с } H_2: \quad Q_{H_2} = \frac{300}{22,4} \cdot 29,6 \cdot 800 = 317143 \text{ кДж}$$

$$\text{с } H_2O: \quad Q_{H_2O} = \frac{150}{22,4} \cdot 37,5 \cdot 800 = 200893 \text{ кДж}$$

$$Q_{\phi}' = 629465 \text{ кДж.}$$

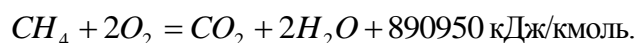
- теплопотери:  $Q_{ном} = 223000 \cdot 0,04 = 9820 \text{ кДж}$

$$Q_{расх} = Q_p + Q_{\phi}^k + Q_{ном} = 1559821 \text{ кДж}$$

$$\Delta Q = Q_{расх} - Q_{\phi}^{cM} = 1559821 - 223000 = 1336821 \text{ кДж}$$

Таким образом, дефицит теплоты составил 1336821 кДж, то есть необходим дополнительный подвод теплоты в зону реакции.

Предположим, что подвод теплоты осуществляется путем сжигания части метана природного газа (98%  $CH_4$  и 2%  $N_2$ ) по реакции:



Для покрытия образовавшегося дефицита теплоты необходимо сжечь  $\frac{1336821}{890950} = 1,5$  кмоль метана или  $\frac{1,5}{0,98} = 1,53$  кмоль ( $34,3 \text{ м}^3$ ) природного газа.

Результаты расчетов представим в виде таблицы (табл.).

**Таблица**

Тепловой баланс процесса получения водорода каталитической конверсией метана

Приход			Расход		
Статья	МДж	%	Статья	МДж	%
1. Физическая теплота парогазовой смеси $Q_{\phi}^{см}$	223,0	14,3	1. Теплота эндо-термической реакции $Q_p$	920,5	59,0
			2. Теплота конвертированного газа $Q_{\phi}^к$	629,5	40,4
2. Дополнительный подвод теплоты	1336,8	85,7	3. Теплотери	9,8	0,6
<b>Итого</b>	<b>1559,8</b>	<b>100</b>	<b>Итого</b>	<b>1559,8</b>	<b>100</b>

Примерный перечень вопросов к экзамену

1. Водород, синтез-газ: практическое применение и методы получения.
2. Способы получения синтез-газа из природного газа: (сущность, краткая характеристика)
3. Подготовка природного газа для конверсии. Очистка природного газа от сернистых соединений. Катализаторы.
4. Схема двухступенчатой сероочистки природного газа.
5. Окислительный пиролиз природного газа (парциальное окисление метана) (POX): химическая схема, физико-химические основы процесса. Характеристика конвертированного газа.
6. Паровая конверсия метана (SMR): сущность и химическая схема процесса
7. Катализаторы конверсии природного газа.
8. Паровая конверсия метана (SMR): физико-химические основы процесса. Характеристика конвертированного газа.
9. Углекислотная конверсия природного газа: сущность и химическая схема процесса.
10. Углекислотная конверсия природного газа): физико-химические основы процесса. Характеристика конвертированного газа.
11. Принципиальная технологическая схема двухступенчатой паровоздушной конверсии природного газа.

12. Комбинирование традиционных способов риформинга природного газа/метана - Автотермический риформинг (ATR)
13. Комбинирование традиционных способов риформинга природного газа/метана - Тройной риформинг
14. Основные аппараты конверсии природного газа.
15. Альтернативные пути окисления метана в синтез-газ
16. Выделение чистого водорода из продуктов конверсии природного газа
17. Водород как перспективный энергоноситель. Преимущества и недостатки водородного топлива
18. Методы получения синтез-газа: Газификация угля. Физико-химическая сущность процесса.
19. Газификация угля. Примеры промышленных установок.
20. Газификация угля. Характеристика синтез-газа, полученного при газификации различного твердого сырья.
21. Газификация угля. Варианты использования полученного синтез газа.
22. Промышленное применение технологий газификации топлива за рубежом
23. Получение синтез-газа из различных видов биомассы.
24. Синтез-газ. Состав. Применение. Получение синтез-газа с заданным СО-водородным числом.
25. Получение синтез-газа на интегрированных металлургических предприятиях полного цикла
26. Применение пароводяной конверсии природного газа в доменном производстве
27. Специфические экологические риски процессов переработки природного газа

#### Примеры тестовых заданий

1. Для ускорения процесса паровой конверсии метана и исключения сажеобразования необходимо
  - а) повысить давление и температуру
  - б) использовать катализатор (Ni) и избыток метана
  - в) использовать катализатор (Ni) и избыток водяного пара
  - г) проводить процесс при пониженном давлении, температуре 1300<sup>0</sup>С и избытке метана.
  
2. Увеличению выхода водорода по реакции
 
$$CH_4 + H_2O \leftrightarrow 3H_2 + CO, \Delta H = 206 \text{ кДж/моль}$$
 способствуют:
  - а) снижение давления, повышение температуры, увеличение соотношения пар:газ
  - б) снижение давления, повышение температуры, увеличение соотношения пар:газ, использование катализатора
  - в) повышение давления и температуры, увеличение соотношения пар:газ, использование катализатора
  - г) повышение давления, понижение температуры, увеличение соотношения пар:газ.
  
3. Конвертированный газ (после двухступенчатой конверсии метана и СО) содержит, об.%
  - а) CH<sub>4</sub> - 10, H<sub>2</sub> - 68,9, CO<sub>2</sub> - 9,8



- б)  $\text{CH}_4$  - 0,4,  $\text{H}_2$  - 59,8,  $\text{CO}_2$  - 15,2
- в)  $\text{CH}_4$  - 0,5,  $\text{H}_2$  - 56,1,  $\text{CO}_2$  - 7,2
- г)  $\text{CH}_4$  - 98,  $\text{H}_2$  - 0,  $\text{CO}_2$  - 0,4.

4. Катализаторы, применяемые в промышленности при получении водорода конверсией природного газа

- а) Ni, Fe-Cr,  $\text{V}_2\text{O}_5$
- б) Zn-Cr-Cu, Ni
- в) Pt, Fe-Cr, Zn-Cr-Cu
- г) Ni, Fe-Cr, Zn-Cr-Cu

5. Основным видом оборудования агрегата конверсии является

- а) шахтная печь
- б) метанатор
- в) трубчатая печь
- г) абсорбер

6. Наиболее экономичными способами получения водорода для синтеза аммиака являются

- а) конверсия метана, CO и разделение коксового газа
- б) конверсия метана и электролиз воды
- в) разделение коксового газа, электролиз воды, конверсия метана
- г) конверсия метана и электролиз растворов щелочных металлов.

7. При получении водорода электролизом воды на катоде протекает реакция

- а)  $2\text{H}_2\text{O} + 2\bar{e} \rightarrow \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$
- б)  $2\text{H}_2\text{O} + 2\bar{e} \rightarrow 2\text{H}_2 + \text{O}_2$
- в)  $2\text{H}_2\text{O} + 2\bar{e} \rightarrow \text{O}_2 + 4\text{H}^+$
- г)  $2\text{H}_2\text{O} + 2\bar{e} \rightarrow 4\text{H}^+$

## 7 Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации

**а) Планируемые результаты обучения и оценочные средства для проведения промежуточной аттестации:**

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
ПК-2: Способен выполнять производственные задачи по выпуску товарной продукции топливно-энергетического комплекса		
ПК-2.1	Оценивает параметры и режимы технологических процессов, вносит предложения по их совершенствованию, анализирует результаты производственной деятельности в топливно-энергетическом комплексе	28. Водород, синтез-газ: практическое применение и методы получения. 29. Способы получения синтез-газа из природного газа: (сущность, краткая характеристика) 30. Подготовка природного газа для конверсии. Очистка природного газа от сернистых соединений. Катализаторы. 31. Схема двухступенчатой сероочистки природного газа. 32. Окислительный пиролиз природного газа (парциальное окисление метана) (POX): химическая схема, физико-химические основы процесса. Характеристика конвертированного газа. 33. Паровая конверсия метана (SMR): сущность и химическая схема процесса 34. Катализаторы конверсии природного газа. 35. Паровая конверсия метана (SMR): физико-химические основы процесса. Характеристика конвертированного газа. 36. Углекислотная конверсия природного газа: сущность и химическая схема процесса. 37. Углекислотная конверсия природного газа): физико-химические основы процесса. Характеристика конвертированного газа. 38. Комбинирование традиционных способов риформинга природного газа/метана - Автотермический риформинг (ATR) 39. Комбинирование традиционных способов риформинга природного газа/метана - Тройной риформинг 40. Основные аппараты конверсии природного газа. 41. Альтернативные пути окисления метана в синтез-газ 42. Выделение чистого водорода из продуктов конверсии природного газа 43. Методы получения синтез-газа: Газификация угля. Физико-химическая сущность

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
		<p>процесса.</p> <p>44. Газификация угля. Примеры промышленных установок.</p> <p>45. Газификация угля. Характеристика синтез-газа, полученного при газификации различного твердого сырья.</p> <p>46. Газификация угля. Варианты использования полученного синтез газа.</p> <p>47. Промышленное применение технологий газификации топлива за рубежом</p> <p>48. Получение синтез-газа из различных видов биомассы.</p> <p>49. Синтез-газ. Состав. Применение. Получение синтез-газа с заданным СО-водородным числом.</p> <p>50. Получение синтез-газа на интегрированных металлургических предприятиях полного цикла</p> <p>Решить задачу</p> <p>1. Определить теоретический расход бурого угля (содержащего 70%(масс) углерода), водяного пара и воздуха для получения 1000 м<sup>3</sup> генераторного газа состава, %(об) : <math>H_2</math> -18; <math>CO</math> - 40, <math>N_2</math> - 42. Состав воздуха принять, % (об): <math>O_2</math> -21, <math>N_2</math> -79. Процесс газификации протекает по реакциям:</p> $C + H_2O = CO + H_2 \quad (a)$ $2C + O_2 = 2CO \quad (б)$ <p>2. Укажите статьи приходной и расходной материального и теплового балансов процесса получения водорода каталитической конверсией метана. Процесс идет по реакции:</p> $CH_4 + H_2O = CO + 3H_2 - 206,2 \text{ кДж/ моль}$ <p>Состав исходной газовой смеси (м<sup>3</sup>): <math>CH_4</math> - 100,0; <math>H_2O</math> - 250,0. Потери теплоты составляют 4% от прихода. Температура смеси на входе в реактор - 380°С, на выходе 800°С.</p> <p>Рассчитайте материальный и тепловой балансы</p>

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
		<p><i>Выполните тест</i></p> <p>8. Для ускорения процесса паровой конверсии метана и исключения сажеобразования необходимо</p> <p>а) повысить давление и температуру  б) использовать катализатор (Ni) и избыток метана  в) использовать катализатор (Ni) и избыток водяного пара  г) проводить процесс при пониженном давлении, температуре 1300<sup>0</sup>С и избытке метана.</p> <p>9. Увеличению выхода водорода по реакции</p> $\text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow 3\text{H}_2 + \text{CO}, \Delta H = 206 \text{ кДж/моль}$ <p>способствуют:</p> <p>а) снижение давления, повышение температуры, увеличение соотношения пар:газ  б) снижение давления, повышение температуры, увеличение соотношения пар:газ, использование катализатора  в) повышение давления и температуры, увеличение соотношения пар:газ, использование катализатора  г) повышение давления, понижение температуры, увеличение соотношения пар:газ.</p> <p>10. Конвертированный газ (после двухступенчатой конверсии метана и СО) содержит, об. %</p> <p>а) CH<sub>4</sub> - 10, H<sub>2</sub> - 68,9, CO<sub>2</sub> - 9,8  б) CH<sub>4</sub> - 0,4, H<sub>2</sub> - 59,8, CO<sub>2</sub> - 15,2  в) CH<sub>4</sub> - 0,5, H<sub>2</sub> - 56,1, CO<sub>2</sub> - 7,2  г) CH<sub>4</sub> - 98, H<sub>2</sub> - 0, CO<sub>2</sub> - 0,4.</p>

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
		<i>Выполните задание</i> 51. Составьте и опишите принципиальную технологическую схему двухступенчатой паровоздушной конверсии природного газа.

## **б) Порядок проведения промежуточной аттестации, показатели и критерии оценивания:**

Промежуточная аттестация по дисциплине «Современные методы получения синтез-газа» включает теоретические вопросы, позволяющие оценить уровень усвоения обучающимися знаний, и практические задания, выявляющие степень сформированности умений и владений, проводится в форме экзамена.

Экзамен по данной дисциплине проводится в устной форме по экзаменационным билетам, каждый из которых включает 2 теоретических вопроса и одно практическое задание.

### **Показатели и критерии оценивания экзамена:**

– на оценку **«отлично»** (5 баллов) – обучающийся демонстрирует высокий уровень сформированности компетенций, высокий уровень знаний не только на уровне воспроизведения и объяснения информации, но и интеллектуальные навыки решения проблем и задач:

- дается комплексная оценка предложенной ситуации;
- демонстрируются глубокие знания теоретического материала и умение их применять;
- последовательное, правильное выполнение всех практических заданий;
- умение обоснованно излагать свои мысли, делать необходимые выводы.
- развернуто отвечает на дополнительные вопросы.

– на оценку **«хорошо»** (4 балла) – обучающийся демонстрирует средний уровень сформированности компетенций:

- Вопросы раскрыты по существу;
- демонстрируются достаточные знания теоретического материала и умение их применять; но допускаются незначительные ошибки, неточности
- выполнение всех практических заданий; возможны единичные ошибки, исправляемые самим студентом после замечания преподавателя;
- затруднения при аналитических операциях, переносе знаний и умений на новые, нестандартные ситуации.
- имеет затруднения при ответе на дополнительные вопросы.

– на оценку **«удовлетворительно»** (3 балла) – обучающийся демонстрирует пороговый уровень сформированности компетенций:

- затруднения с комплексной оценкой предложенной ситуации;
- неполное теоретическое обоснование, требующее наводящих вопросов преподавателя;
- выполнение заданий при подсказке преподавателя;
- затруднения в формулировке выводов.
- дополнительные вопросы вызывают затруднение.

– на оценку **«неудовлетворительно»** (2 балла) – обучающийся демонстрирует знания не более 20% теоретического материала, допускает существенные ошибки, не может показать интеллектуальные навыки решения простых задач.

- большая часть вопросов не раскрыта;
- обучающийся не может проиллюстрировать основные положения теории конкретными примерами, не может применить теорию при решении конкретных задач;
- нет ответов на дополнительные вопросы

– на оценку **«неудовлетворительно»** (1 балл) – обучающийся не может показать знания на уровне воспроизведения и объяснения информации, не может показать интеллектуальные навыки решения простых задач.