

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Локтионова Оксана Геннадьевна

Должность: проректор по учебной работе

Дата подписания: 14.01.2020

Уникальный программный ключ:

0b817ca911e6668abb13a5d426d39e5f1c11eabbf73e943d14a4851fda56d089

## МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Юго-Западный государственный университет»  
(ЮЗГУ)

Кафедра фундаментальной химии и химической технологии



### Рекомендации к выполнению курсовой работы по общей химической технологии

Методические указания к выполнению курсовой работы по общей химической технологии по курсу «Общая химическая технология» для студентов направления подготовки 18.03.01 «Химическая технология»

Курск 2020

УДК 661.715.3:661.721

Составители: Л. М. Миронович, Н. В.Кувардин

Рецензент:

кандидат химических наук, доцент С.Д.Пожидаева

**Рекомендации к выполнению курсовой работы по общей химической технологии:** методические указания к выполнению курсовой работы по общей химической технологии по курсу «Общая химическая технология» для студентов направления подготовки 18.03.01 «Химическая технология» / Юго-Зап. гос. ун-т; сост.: Л. М. Миронович, Н. В.Кувардин. Курск, 2020, 19 с. Библиогр.: 17 с.

Методические указания предназначены для студентов очной и в заочной формы обучения, а также преподавателей, научных сотрудников, аспирантов и инженеров кафедры фундаментальной химии и химической технологии

Методические указания соответствуют требованиям программы, утвержденной учебно-методическим объединением по курсу химия для студентов направления подготовки 18.03.01 «Химическая технология».

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать 21.02.20. Формат 60x84 1/16  
Усл.печ.л. 1,27 Уч.-изд.л. 1,1 Тираж 50 экз. Заказ. 148 Бесплатно.  
Юго-Западный государственный университет.  
305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94

## СОДЕРЖАНИЕ

	с	
1 Содержание задания. . . . .		4
2 Получение ацетилена пиролизом природного газа . . . . .	б	
3 Парофазное окисление метанола в формальдегид. . . . .		11
Список использованных источников . . . . .		17
Приложения. . . . .		18

# 1 СОДЕРЖАНИЕ ЗАДАНИЯ

Курсовая работа по общей химической технологии направления подготовки 18.03.01 Химическая технология предназначена для углубленного изучения курса, навыков получения составления материального и теплового балансов основных химических производств, их расчеты с применением базовых знаний естественнонаучных дисциплин. В данном методическом указании предложено студентам выполнить расчеты по технологии получения органических соединений – пиролиз природного газа с получением ацетилена и парофазное окисление метанола в формальдегид. В методическом указании даны исходные данные и приведены примеры расчета.

Тема курсовой работы по общей химической технологии химии утверждается на заседании кафедры в начале учебного семестра и является обязательной для выполнения.

Публичная защита проводится по графику в виде научной конференции в конце учебного семестра в присутствии студентов и комиссии, состоящей из председателя комиссии и членов комиссии. Регламент устного доклада с презентацией до 10 мин. По результатам защиты выставляется оценка

Курсовая работа по общей химической технологии включает: титульный лист, задание на курсовую работу, реферат (русский и английский), содержание, по необходимости основные обозначения и сокращения, введение, основную часть, заключение, список использованных источников, приложения (по необходимости). Задание на курсовую работу по органической химии формулирует руководитель курсовой работы совместно со студентом. Формулировка темы должна соответствовать ее формулировке в приказе по университету. Обязательно указывается срок представления работы к защите. Ставится дата принятия задания к выполнению с росписью студента и руководителя курсовой работы, выдавшего задания. Руководителем курсовой работы определяются исходные данные для выполнения курсовой работы. Форма задания заполняется рукописным (машинописным) способом.

В курсовой работе обязательно должен быть обзор литературы по предложенным органическим производствам, включающим современные аспекты производства. Курсовая работа оформляется в соответствии с требованиями к курсовым работам. Работа должна

быть напечатана в одном экземпляре шрифтом Times New Roman (14 pt) или Arial через 1-1.5 интервала на одной стороне листа А4 на всю ширину листа с соблюдением полей слева – 3 см, справа – 1 см, сверху и снизу по 2 см и сброшюрована любым способом, не затрудняющим чтение. При оформлении таблиц, рисунков и списка литературы следует руководствоваться требованиями, изложенными выше и в источнике [1].

## 2 ПОЛУЧЕНИЕ АЦЕТИЛЕНА ПИРОЛИЗОМ ПРИРОДНОГО ГАЗА

Ацетилен относят к важным органическим соединениям, т.к. он является полупродуктом для получения широкого круга соединений, находящих применение в народном хозяйстве и органическом синтезе.

Существует два основных метода получения ацетилена:

– из карбида кальция;

– пиролизом углеводородов (метана, этана).

Метод получения ацетилена из карбида кальция в настоящее время не применяют в промышленном масштабе вследствие наличия большого количества отходов и малой экономичности. Широко применяют для получения ацетилена, используемого для сварки металлов.

Пиролизом углеводородов получают дешевый ацетилен, химизм процесса представлен уравнениями:



Кроме этого проходит ряд побочных реакций с образованием CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, H<sub>2</sub>.

Разработаны три основных метода получения ацетилена из углеводородов.

1. Электрокрекинг газообразных углеводородов или жидких продуктов (смола, тяжелых нефтяных остатков). Процесс проводят в реакторе, в котором создается дуга постоянным током между электродами. Конверсия метана составляет 40 – 50% за один проход.

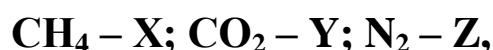
2. Термический крекинг осуществляют в регенеративных печах при 1450–1600°C.

3. Термоокислительный крекинг отличается от термического крекинга тем, что необходимая теплота получается за счет сжигания части метана. Его называют часто пиролизом метана.

Получают смесь газов, из которого выделяют ацетилен используя его свойство хорошо растворяться в N,N-диметилформамиде (ДМФА). Применение в качестве растворителей метанола и ацетона требует охлаждения до – 70°C, поэтому они применяются редко.

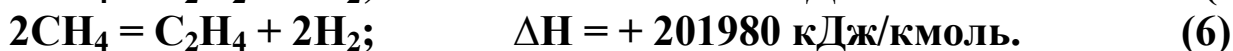
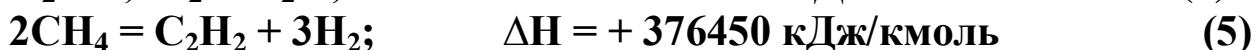
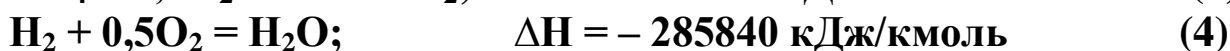
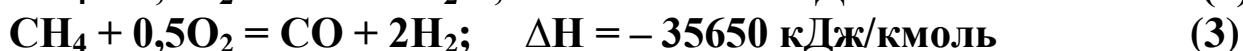
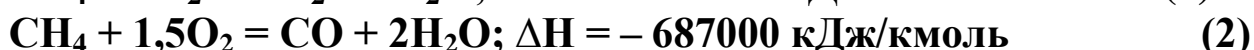
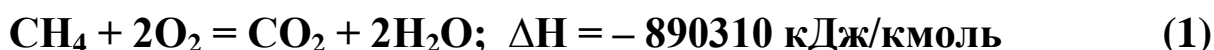
### ЗАДАНИЕ

Термоокислительным крекингом (пиролизом) природного газа, который содержит (% об.):



получают ацетилен А т, который находится в смеси газов. Смесь выходных газов содержит компоненты (% об.):  $\text{C}_2\text{H}_2 - 9$ ;  $\text{CO} - 26$ ;  $\text{H}_2 - 54$ ;  $\text{CO}_2 - 4,5$ ;  $\text{CH}_4 - 6$ ;  $\text{C}_2\text{H}_4 - 0,5$ .

Химический процесс проходит по следующим реакциям:



Установлено, что по реакции 1 сгорает 11,6% метана, по реакции 2 – 42,4 % метана и по реакции 3 – 46% метана. Исходные реагенты, метан и технический кислород, который содержит 1% азота, поступают в печь при температуре 800°C. Газы выходят из реакционной зоны при температуре 1500°C.

Определить объем природного газа, необходимый для пиролиза и составить тепловой баланс.

Исходные данные для расчета приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Исходные данные для пиролиза метана

Вариант	Количество ацетилена, А, т	Состав природного газа, %		
		X	Y	Z
1	1,1	98	0,45	1,55
2	1,2	98	0,48	1,52
3	1,2	98	0,43	1,57
4	1,2	98	0,44	1,56
5	1,5	97,5	0,5	2,00
6	1,5	97,5	0,4	2,10
7	1,5	97,5	0,45	2,05
8	1,6	98,5	0,51	0,99
9	2,0	97,5	0,43	2,07
10	2,0	97,5	0,44	2,06

**Пример расчета.**

**Дано: А = 1,1 т; X = 98%; Y = 0,5%; Z = 1,5%.**

Определяем объем метана, необходимого для получения 1,1 т ацетилена, для этого переводим 1,1 т ацетилена в м<sup>3</sup>:

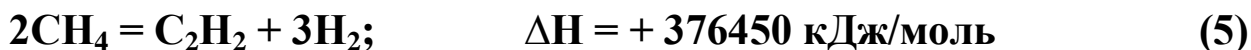
$$1100 \times 22,4 / 26 = 947 \text{ м}^3,$$

с учетом содержания ацетилена в конечной смеси получаем:

$$947 / 0,09 = 10522 \text{ м}^3 \text{ реакционной смеси.}$$

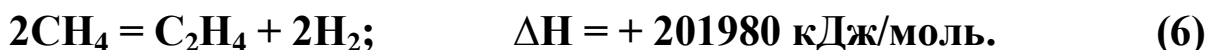
Рассчитываем объем метана:

По реакции



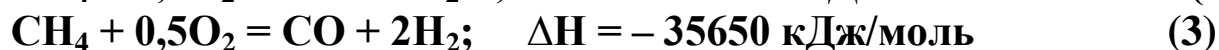
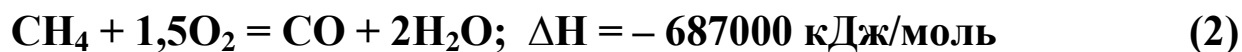
$$947 \times 2 \times 22,4 / 22,4 = 1894 \text{ м}^3.$$

По реакции



$$2 \times 22,4 \times 52,6 / 22,4 = 1894 \text{ м}^3.$$

По реакциям 2 и 3 рассчитываем объем метана, принимая в уравнении 2 объем CO за  $y$ , тогда в уравнении 3 объем CO будет равен  $2736 - y$ .



Решая систему уравнений получаем, объем метана по реакции 2 равен  $1312 \text{ м}^3$ , а по реакции 3 –  $1423 \text{ м}^3$ .

Соответственно по реакции 1 объем метана равен  $359 \text{ м}^3$ . Не прореагировало метана:  $10522 \times 0,06 = 631,3 \text{ м}^3$ .

Данные сводим в таблицу 2.

Таблица 2. – Данные расчета содержания основных компонентов

Реакция	CH <sub>4</sub> , м <sup>3</sup>	H <sub>2</sub> , м <sup>3</sup>	H <sub>2</sub> O, м <sup>3</sup> (пар)	O <sub>2</sub> , м <sup>3</sup>
1	359	–	718	718
2	1312	–	2624	1968
3	1423	2846	–	711,5
4	–	–	110	55
5	1894	2841	–	–
6	105	105	–	–
Не прореагировало	631		–	–
Всего	5724	5792	3452	3452,5

Аналогично определяем количество кислорода, который прореагировал по реакциям 1-4 и данные заносим в таблицу 2. Объем водорода определяем по уравнениям реакций 3, 5, 6, остаток рассчитываем из данных задачи  $10522 \times 0,54 = 5682 \text{ м}^3$ , из них прореагировало  $5792 - 5682 = 110 \text{ м}^3$ , данные заносим в таблицу 2.

Объем воды в виде пара рассчитываем по уравнениям реакций 1, 2, 4 и данные заносим в таблицу 2.

По заданию необходимо рассчитать объем природного газа, пошедшего на получение 1,1 т ацетилена. С учетом содержания



метана в природном газе 98% он составит  $5724 \times 0,98 = 5840,8 \text{ м}^3$ . При этом содержание  $\text{CO}_2$  в природном газе  $5840,8 \times 0,004 = 23,26 \text{ м}^3$ ; азота  $93,4 \text{ м}^3$ . С учетом технического кислорода приходит кислорода –  $3452,5 \times 0,01 = 34,52 \text{ м}^3$  и азота  $127,9 \text{ м}^3$ . Данные нужны для расчета теплового баланса.

**Тепловой баланс:** приход тепла в данной технологической операции равен расходу тепла в ней, что записывается в форме уравнения теплового баланса:

$$\sum Q_{\text{приход}} = \sum Q_{\text{расход}} . \quad (1)$$

Теплосодержание веществ рассчитывают по формуле:

$$Q = m \cdot c \cdot t, \quad (2)$$

где  $m$  – масса вещества;  $C$  – теплоемкость;  $t$  – температура.

Теплоту фазовых переходов рассчитывают по формуле:

$$Q_1 = m \cdot q, \quad (3)$$

где  $q$  – удельная теплота соответствующего фазового перехода (испарения, конденсации, растворения, кристаллизации);  $m$  – масса вещества.

Для органических веществ теплоемкость рассчитывают по формуле

$$C = a_0 + a_1T + a_2T^2 + a_3T^3$$

Для неорганических веществ теплоемкость рассчитывают по формуле

$$C = a_0 + a_1T + a_2' / T^2 .$$

Данные для расчета берут из справочника термодинамических величин (приложения А, Б).

Рассчитываем теплоемкости веществ при температуре 1073 К и 1773 К. В качестве примера приводим расчет теплоемкости метана. Значения  $a_0$ ,  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $a_3$  берем из справочника термодинамических величин.

При 1073 К:

$$C_{\text{CH}_4} = 17,45 + 50,45 \cdot 1073 + 1,117 \cdot 1151329 - 7,20 \cdot 1235376017 = 64,7 \text{ кДж} / (\text{кмоль} \cdot \text{К}).$$

При 1773 К:

$$C_{\text{CH}_4} = 17,45 + 50,45 \cdot 1773 + 1,117 \cdot 3143529 - 7,20 \cdot 5573476917 = 79,28 \text{ кДж} / (\text{кмоль} \cdot \text{К}).$$

Аналогично рассчитываем теплоемкости этилена, ацетилена, азота, водорода, кислорода, углекислого газа, воды(пар), оксида углерода (II).

Рассчитываем приход теплоты по формуле

$$Q_{\text{ф}} = Q_{\text{CH}_4} + Q_{\text{O}_2} + Q_{\text{N}_2} + Q_{\text{CO}_2} = 23742063 \text{ кДж}.$$

Теплосодержание каждого вещества рассчитываем по формуле 2. Например, теплосодержание метана  $Q_{\text{CH}_4} = 5724 \cdot 64,7 \cdot 1073 / 22,4 = 17740081 \text{ кДж}$ .

В результате прохождения реакций 1– 4 выделяется теплота

$$Q_{\text{р}} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 = 58175786 \text{ кДж}.$$

Например:  $Q_1 = 359 \cdot 890310 / 22,4 = 14268807 \text{ кДж}$ .

Полученные данные заносим в таблицу 3.

Таблица 3 – Тепловой баланс производства ацетилена

Приход теплоты	кДж	%	Расход теплоты	кДж	%
$Q_{\text{ф}}$	23742063	28,98	$Q'_{\text{ф}}$	49056639	61,2
$Q_{\text{р}}$	58175786	71,02	$Q'_{\text{р}}$	32776973	40,27
Всего	81917849	100		81833612	100

Рассчитываем расход поглощения теплоты в результате реакций 5, 6 . Например, для реакции 5:  $Q_5' = 1894 \cdot 376450 / 22,4 = 31830192 \text{ кДж}$ .

Расход теплоты за счет физических процессов рассчитываем по формуле 2. Например, для метана:  $Q'_{\text{CH}_4} = 631 \cdot 70,22 \cdot 1773/22,4 = 3510119$  кДж. Аналогично рассчитываем расход теплоты для ацетилена, этана, азота, водорода, воды (пар), оксида углерода (II) и оксида углерода (IV). Данные заносим в таблицу 3.

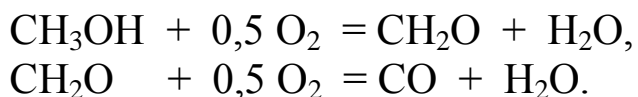
Рассчитываем неувязку баланса, которая составляет 0,1%.

### **3 ПАРОФАЗНОЕ ОКИСЛЕНИЕ МЕТАНОЛА В ФОРМАЛЬДЕГИД**

Формальдегид НСНО представляет собой бесцветный газ с острым раздражающим запахом. Выпускают в виде 37%-ного водного раствора, который при хранении полимеризуется с образованием твердого параформальдегида. Применяют для производства полимерных материалов, для синтеза изопрена, пентаэритрита, уротропина и других полезных веществ. Является консервантом.

Получают двумя основными методами:

а) дегидрированием метанола, совмещенным с частичным окислением. Дегидрирование и окисление метанола протекает по реакциям:



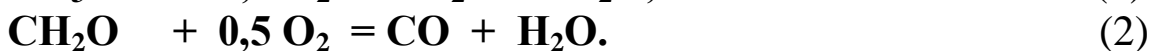
При этом на 55% протекает окисление, а на 45% - дегидрирование. Окислительное дегидрирование проводят при недостатке кислорода при температуре 500 – 600°C . Время контакта составляет 0,01 – 0,03 с. Степень конверсии метанола составляет 85 – 90%. В качестве катализатора применяют металлическую медь в виде сетки или стружек, а также можно использовать серебро, осажденное на оксиде алюминия;

б) окислением метанола в избытке воздуха. Процесс осуществляют в избытке воздуха при 350 – 430°C и атмосферном давлении с оксидным железомолибденовым катализатором. Отличается высокой степенью конверсии метанола (99%) и селективностью (95 – 96%). Используют трубчатые реакторы с охлаждением, которое проводится водой.

## ЗАДАНИЕ

Продуктивность установки для парофазного окисления метанола до формальдегида в кипящем слое оксидного катализатора составляет  $A$  т формалина (37 % водный раствор формальдегида) в год. Общая степень превращения метанола –  $X_1$ ; степень превращения метанола в формальдегид –  $X_2$ . Содержание метанола в воздушноспиртовой смеси, которая подается на окисление  $C$  % (об.).

Окисление метанола проходит по необратимым реакциям



Температура воздушноспиртовой смеси  $70^\circ\text{C}$ ; температура газа в кипящем слое  $600^\circ\text{C}$ . Общий коэффициент теплопередачи от кипящего слоя к охлаждающей воде  $380 \text{ Вт/м}^3$ . Установка работает 341 сутки в год (с учетом простоев и ремонтов).

Составить материальный и тепловой баланс реактора окисления, определить поверхность теплообмена змеевика для охлаждения кипящего слоя. Тепловые потери реактора 5%. Исходные данные для расчета приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Исходные данные для расчета

Вариант	Продуктивность, $A$ , т/год	Общая степень превращения метанола, $X_1$	Степень превращения метанола в формальдегид, $X_2$	Содержание метанола, $C$ , % (об)
1	11000	0,97	0,90	15
2	12000	0,96	0,90	15
3	13000	0,85	0,90	15
4	14000	0,94	0,90	15
5	15000	0,98	0,85	15
6	16000	0,97	0,85	15
7	17000	0,96	0,85	15
8	17000	0,96	0,85	15

9	11000	0,89	0,80	18
10	12000	0,90	0,80	18

### Пример расчета.

**Дано: A = 10000 т/год; X<sub>1</sub> = 0,98; X<sub>2</sub> = 0,90; C = 15 % (об.).**

Расчеты проводим на продуктивность реактора в кг/час.  
Часовая продуктивность установки по формальдегиду составляет:

$10000 \cdot 1000 \cdot 0,37 / 341 \cdot 24 = 452,1$  кг/час  
или  $452,1 / 30 = 15,07$  кмоль/час (молярная масса формальдегида 30 г/моль, метанола – 32 г/моль).

Израсходовано метанола:

$452,1 \cdot 32 / 30 \cdot 0,9 = 535,82$  кг/час  
или 16,74 кмоль/час или 375,07 м<sup>3</sup>/час.

Объем воздушноспиртовой смеси составляет

$375,07 / 0,15 = 2500,47$  м<sup>3</sup>,  
в т.ч. кислорода  $2500,47 \cdot 0,21 = 525,1$  м<sup>3</sup>/час или 23,44 кмоль/час,  
азота  $2500,47 \cdot 0,79 = 1975,37$  м<sup>3</sup>/час или 88,19 кмоль/час.

Истрачено метанола на побочные реакции:  $16,74 \cdot 0,98 - 15,07 = 1,34$  кмоль/час.

Осталось метанола:  $16,74 (1 - 0,98) = 0,33$  кмоль/час.

Рассчитываем количество образовавшегося СО:

$16,74 (0,98 - 0,9) = 1,34$  кмоль/час, а также воды (пар):  $16,74 \cdot 0,98 + 1,34 = 17,74$  кмоль/час.

Израсходовано кислорода

по реакции 1  $16,74 \cdot 0,98 / 2 = 8,2$  кмоль/час,

по реакции 2  $1,34 / 2 = 0,67$  кмоль/час.

Всего – 8,87 кмоль/час. При этом осталось кислорода:  $23,44 - 8,87 = 14,57$  кмоль/час.

Данные расчета заносим в таблицу 5.

Таблица 5 – Материальный баланс

Компоненты	Приход			Расход		
	кг	кмоль	м <sup>3</sup>	кг	кмоль	м <sup>3</sup>
СН <sub>3</sub> ОН	535,82	16,74	375,07	10,56	0,33	7,46
О <sub>2</sub>	750,08	23,44	525,1	466,24	14,57	326,39
N <sub>2</sub>	2469,32	88,19	1975,37	2469,32	88,19	1975,37
СН <sub>2</sub> О	–	–	–	452,1	15,07	337,57
СО	–	–	–	37,52	1,34	30,01
Н <sub>2</sub> О	–	–	–	319,41	17,74	374,98
Итого	3755,22			3755,15		

Тепловой баланс.

Составляем брутто-уравнение реакции и считаем тепловой эффект реакции.



где a,b,d,e,f – количество соответствующих веществ в кмоль/час.

Теплоту образования веществ (при 298 К) находим по табличным данным (приложение 1,2), кДж/моль: СН<sub>3</sub>ОН = +201,200; СН<sub>2</sub>О = +115,900; Н<sub>2</sub>О = +241,840; СО = +110,500.

По закону Гесса  $Q_p = \sum Q_{\text{кон}} - \sum Q_{\text{исх}}$ , рассчитываем тепловой эффект реакции.

$$\sum Q_{\text{кон}} = 15,07 \cdot 115900 = 17,74 \cdot 241840 + 1,34 \cdot 110500 = 6184924 \text{ кДж/моль.}$$

$$\sum Q_{\text{исх}} = 16,41 \cdot 201200 = 3301692 \text{ кДж/моль.}$$

$$Q_p = 2883233 \text{ кДж/моль.}$$

Полученный тепловой эффект реакции рассчитан при температуре 298 К. Для определения теплового эффекта химической реакции при другой температуре используют закон Кирхгофа:

$$Q_T = Q_{298} + \int_{298}^T (\sum Nc' - \sum Nc'')dT, \text{ путем интегрирования получаем уравнение}$$

$$Q_T = Q_{298} + \alpha(T-298) + \beta(T^2-298^2) + \gamma(T^3-298^3),$$

где  $\alpha = \Sigma Na = -294,08$ ;  $\beta = 0,345$ ;  $\gamma = -92,65 \cdot 10^{-6}$ .

Для органических веществ действительные теплоемкости рассчитывают по формуле

$$C = a_0 + a_1T + a_2T^2 + a_3T^3$$

Для неорганических веществ действительные теплоемкости рассчитывают по формуле

$$C = a_0 + a_1T + a_2' / T^2.$$

Например, для метанола:

при 343 К

$$C_{CH_3OH} = 15,28 + 105,2 \cdot 343 \cdot 10^{-3} - 31,94 \cdot 343^2 \cdot 10^{-6} = 47,71 \text{ кДж / (кмоль} \cdot \text{К)}.$$

При 873 К

$$C_{CH_3OH} = 15,28 + 105,2 \cdot 873 \cdot 10^{-3} - 31,94 \cdot 873^2 \cdot 10^{-6} = 83,45 \text{ кДж / (кмоль} \cdot \text{К)}.$$

Подставляя в формулу

$$Q_T = Q_{298} + \alpha(T-298) + \beta(T^2-298^2) + \gamma(T^3-298^3),$$

найденные значения получаем, что тепловой эффект реакции при 873 К равен 2887658 кДж.

Рассчитываем приход теплоты метанола, кислорода и азота по формуле

$$Q = m \cdot c \cdot t$$

Например, для метанола:

$$Q_{CH_3OH} = 47,71 \cdot 343 \cdot 16,74 = 273942 \text{ кДж/час}.$$

Физическая теплота воздушноспиртовой смеси будет равна 1397684 кДж/час, а общий приход теплоты:  $1397684 + 2887658 = 4285342$  кДж/час. Тепловые потери составляет:  $Q_{пот} = 4285342 \cdot 0,05 = 214267$  кДж/час.

Аналогично рассчитываем теплоту ( $Q_1'$ ), которая выносится из реактора продуктами реакции, которая равняется 4295342 кДж/час.

Теплоту, которая отводится путем охлаждения кипящего слоя, находим из уравнения теплового баланса:

$$Q_1 + Q_p = Q_1' + Q_{пот} + Q_{охл}.$$

$$Q_{\text{охл.}} = 197474 \text{ кДж/час.}$$

Находим поверхность теплообмена ( $F, \text{м}^2$ ) змеевика в кипящем слое, считая, что начальная температура охлаждающей воды  $20^\circ\text{C}$ , а конечная температура –  $40^\circ\text{C}$ .

$$F = Q_{\text{охл.}} / K \cdot t \cdot 3600 = 197474 / 380 \cdot 570 \cdot 3600 = 0,25 \text{ м}^2.$$



## Список использованных источников

1. Работы (проекты) курсовые, работы выпускные квалификационные. Общие требования к структуре, оформлению и защите // Стандарт ЮЗГУ 04.02.030-2008.
2. Амелин, А.Г. Общая химическая технология /А. Г. Амелин. – М.: Химия, 1977. – 324 с.
3. Бесков, В. С. Общая химическая технология: учебник для студентов вузов / В. С. Бесков. – М.: Академкнига, 2005. – 452 с.
4. Соколов, Р. С. Химическая технология / Р. С. Соколов. – М.: ВЛАДОС, 2003. – Т.1. – 368 с.

## Приложение А

Термодинамические величины для неорганических веществ.  
 Формула для расчета  $C = a_0 + a_1T + a_2' / T^2$ , температурный интервал 298 – 1500 К.

Вещество	$\Delta H_{298}^{\circ}$ , кДж/моль	Теплоемкость, Дж/(моль · К)			$C_{p298}^{\circ}$ , Дж/(моль · К)
		коэффициент уравнения			
		$a_0$	$a_1 \cdot 10^3$	$a_2' \cdot 10^{-5}$	
$O_{2(g)}$	0	31,46	3,39	-3,77	29,36
$N_{2(g)}$	0	27,87	4,27	–	29,10
$CO_{2(g)}$	-393,51	44,14	9,04	-8,53	37,13
$H_{2(g)}$	0	27,28	3,26	0,502	28,83
$CO_{(г)}$	-110,5	28,41	4,10	-0,46	29,15
$H_2O_{(г)}$	-241,81	30,00	10,71	0,33	33,56
$H_2O_{(ж)}$	-285,84	39,02	76,64	11,96	785,31

## Приложение Б

Термодинамические величины для органических веществ.  
 Формула для расчета  $C = a_0 + a_1T + a_2T^2 + a_3T^3$ , температурный интервал 298 – 1500 К.

Вещество	$\Delta H^{\circ}_{298}$ , кДж/моль	Теплоемкость, Дж/(моль · К)				$C^{\circ}_{p298}$ , Дж/(моль · К)
		коэффициент уравнения				
		$a_0$	$a_1 \cdot 10^3$	$a_2 \cdot 10^6$	$a_3 \cdot 10^9$	
$CH_{4(g)}$	-74,85	17,45	50,45	1,117	-7,20	35,79
$C_2H_{2(g)}$	226,75	23,46	85,77	-58,34	15,87	43,93
$C_2H_{4(g)}$	52,28	4,196	154,59	-81,09	16,82	43,63
$C_2H_{6(g)}$	-84,67	4,494	182,26	-74,86	10,8	52,70
$C_3H_{8(g)}$	-103,9	-4,80	307,3	-160,16	32,75	73,51
$n-C_4H_{10(g)}$	-124,7	0,469	385,38	-198,88	39,97	97,78
$CH_2O(g)$	-115,9	18,82	38,38	-15,61	–	35,34
$CH_3OH(g)$	-201,2	15,28	105,2	-31,04	–	43,9
$C_2H_5OH(g)$	-235,3	19,07	212,7	-108,6	21,9	73,6
$CH_3COOH(g)$	-437,4	5,56	243,5	-151,9	36,8	66,5