

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Санкт-Петербургский государственный технологический институт
(технический университет)»

Кафедра систем автоматизированного проектирования и управления

Л.В. Гольцева, А.В. Козлов



КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В ХИМИИ И ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ

Методические указания к выполнению курсовой работы
для студентов заочной формы обучения
направления подготовки «Информатика и вычислительная техника»

Санкт-Петербург
2018

Номера вариантов для выполнения курсовой работы

Фамилия студента, инициалы	Номер задания	Номер варианта в задании
Баранов В. К.	1	1
Бобылев П. А.	2	1
Вахитов Р. Ф.	1	2
Зборовский А. А.	2	2
Зеленюк О. Н.	1	3
Калугина Н. Ю.	2	3
Коржев Д. А.	1	4
Максимов А. И.	2	4
Марченко И. А.	1	5
Михнин А. Ю.	2	5
Неменко А. А.	1	6
Першина М. В.	2	6
Смирнов А. А.	1	7
Степакова Н. В.	2	7
Утенков А. Г.	1	8
Черченко Е. В.	2	8
Чуриков С. С.	1	9
Штырхунов И. Д.	2	9
Щипунова Е. В.	1	10

ЗАДАНИЕ 1

Разработка математической модели и исследование процесса очистки газа от пыли в циклонном аппарате

Список условных обозначений

d - размер частиц, м;

m — масса частицы, кг

d_{min} — минимальный размер частицы, м

D — диаметр, мм;

v_R - скорость радиального движения, м/с;

V_r - объем поступившего газа на очистку, м³/ч;

V_T - скорость поступающего газа, м/с;
 Q - производительность аппарата, м³/ч;
 $R_{\text{вых.тр}}$ – радиус выхлопной трубы, мм;
 $R_{\text{цилиндр}}$ – радиус цилиндрической трубы, мм;
 ζ -коэффициент гидравлического сопротивления;
 ρ - плотность частицы, кг/м³;
 μ -вязкость газа, Па;
 τ -время осаждения частицы, с.

1 Характеристика процесса

Проблема очистки воздуха и других газов от разнообразных загрязнений, вносимых промышленностью, является одной из наиболее актуальных проблем современности. Для очистки газов от твердых примесей широко используются циклонные аппараты.

Основными элементами циклонов являются:

- входной патрубок;
- корпус, состоящий из конической и цилиндрической частей;
- выхлопной патрубок;
- бункер.

Основными характеристиками циклона являются: диаметр, высота, масса, радиус цилиндрической части, радиус выхлопной трубы и производительность. На рисунке 1 изображено общее строение циклонного аппарата.

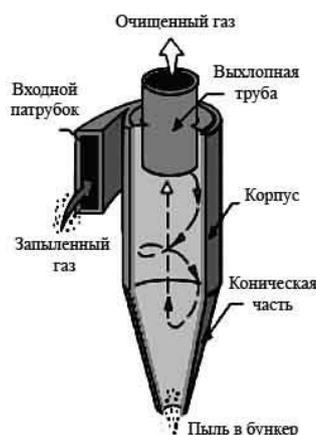


Рисунок 1 – Строение циклонного аппарата

Пылевоздушная масса с взвешенными в ней твердыми частицами пыли через входной патрубок поступает в цилиндрическую часть циклона, и совершают движение сверху вниз по наружной спирали. Под действием центробежной силы фракции пыли отделяются и по стенкам циклона перемещаются вниз в сборный конус. Обычно в циклонах центробежное ускорение в несколько сотен, а то и в тысячу раз больше ускорения силы

тяжести, поэтому даже весьма маленькие частицы пыли не в состоянии следовать за газом, а под влиянием центробежной силы движутся к стенке. Собранная пыль движется вдоль стенки по спирали вниз в пылевой бункер. Очищенный газ по мере движения сверху вниз частично меняет свое направление, поступая в осевую зону циклона. Чистый воздух или другой газ выводится в воздуховод для очищенного воздуха сверху или сбоку циклона, частицы пыли вследствие своей инерционности этого сделать не успевают и попадают в бункер.

В зависимости от расхода очищаемого газа циклоны могут устанавливаться по одному (одиночные циклоны) или объединяться в группы из двух, четырех, шести или восьми циклонов (групповые циклоны). Циклоны могут применяться для очистки газов от нескольких сотен до сотен тысяч кубометров в час.

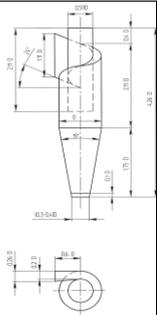
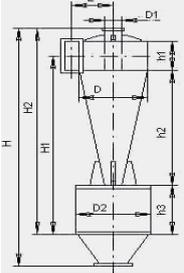
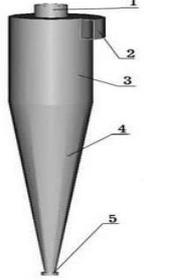
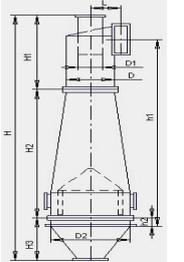
Степень очистки воздуха в циклоне составляет 80-90 % в зависимости от размеров и конструкции аппарата, свойств пылевых частиц и газа, скорости пылевоздушного потока.

Основными свойствами газов, влияющими на процесс очистки, являются: плотность, динамическая вязкость. Основными характеристиками пыли являются: плотность и размер улавливаемых частиц.

Область применения циклонов приведена в таблице 1.

Таблица 1 – Область применения циклонных аппаратов

Тип циклона	Область применения	Конструкция (схема)
ЦН-11	Отделение от газообразной среды взвешенных частиц сухой пыли, образующихся в различных помольных и дробильных установках и при транспортировании сыпучих материалов, а также летучей золы.	
ЦН-15	Улавливание золы из дымовых газовых котельных, работающих на твёрдом топливе, и сухой не слипающейся и неволокнистой пыли при начальной 400 г/м ³ запылённости воздуха; небольшие габариты; устойчивая работа на пыли, склонной к налипанию; менее подвержены износу.	

ЦН-24	<p>Отделение от газообразной среды взвешенных частиц сухой пыли, образующейся в различных помольных и дробильных установках, при транспортировании сыпучих материалов.</p> <p>Относятся к цилиндрическим циклонам; особенность - наличие удлиненной цилиндрической части, наклон крышки и входного патрубка соответственно под углом 24° и одинаковое отношение диаметра выхлопной трубы к диаметру циклона равно $0,59$.</p>	
СК-ЦН-34	<p>Очистка сажегазовых и сажевоздушных смесей от твердых частиц. Относятся к коническим циклонам; отличаются удлиненной конической частью, спиральным входным патрубком в виде улитки и малым отношением диаметра выхлопной трубы к диаметру корпуса цилиндра равным $0,34$.</p>	
СЦН-50	<p>В литейных производствах, энергетике, в производствах строительных материалов, металлургии; Спиральный ввод запыленного газа в циклон, увеличения длины цилиндрической части корпуса и диаметра пылевывпускного отверстия; просты по конструкции, несложны в изготовлении и удобны в эксплуатации.</p>	
ЦМ	<p>Очистки выбросов от зернистой, волокнистой, волокнисто-зернистой пыли; от пыли и отходов, образующихся при переработке сельскохозяйственной продукции.</p>	

2 Цели и задачи курсовой работы

Целью курсовой работы является разработка программного обеспечения для исследования циклонного аппарата.

Для достижения цели нужно решить следующие задачи:

- 1) изучить характеристики циклонных аппаратов, газов и твердых частиц;
- 2) дать формализованное описание задачи моделирования процесса газоочистки в циклонном аппарате, т.е. выявить входные, выходные и варьируемые переменные;
- 3) разработать математическую модель для исследования;

- 4) разработать программно-алгоритмическое обеспечение;
- 5) провести исследование объекта, варьируя заданные переменные;
- 6) получить таблицы и графики, отражающие зависимость выходных характеристик от варьируемых переменных;
- 7) сделать выводы по работе.

3 Постановка задачи моделирования циклонного аппарата

При заданных параметрах циклонного аппарата: радиусе выхлопной трубы $R_{\text{вых.тр}}$, радиусе цилиндрической части $R_{\text{цилиндр}}$, а также при заданной плотности частиц ρ и размере частиц пыли d , вязкости газа μ определить: минимальный размер улавливаемых частицы пыли d_{min} , скорость радиального движения частицы v_R , время, затрачиваемое частицей для прохождения потока движения τ , варьируя заданные переменные (тип аппарата, скорость газового потока V_T , диаметр частиц, плотность частицы ρ).

Процессы, происходящие в циклонах, весьма сложны и зависят от многих факторов. Поэтому для теоретических расчетов приходится делать ряд допущений:

- пылевидные частицы, поступающие с воздушным потоком в циклон, имеют сферическую форму;
- при входе в циклон частицы равномерно распределены по сечению;
- частицы, достигшие стенок циклона, осаждаются (в действительности часть этих осажденных частиц будет отброшена от стенки вследствие турбулизации потока газа);
- не учитывается коагуляция (слипание) пылевидных частиц в циклоне.

Вследствие того, что масса частиц пыли весьма мала, они практически мгновенно приобретают скорость переносящего их объема газа, поэтому тангенциальную составляющую скорости частиц V_T можно без большой ошибки считать равной скорости газового потока.

В связи с тем, что плотность частиц пыли значительно больше плотности воздуха ρ , на частицу действует центробежная сила:

$$F_{\text{ц}} = \frac{m \cdot V_T^2}{R},$$

$$m = V\rho = \frac{\pi d^3}{6} \rho, \text{ кг.}$$

где m — масса шаровой частицы,

R - расстояние от частицы до оси циклона.

Под действием этой силы частица пыли движется в радиальном направлении к стенке циклона, испытывая сопротивление этому движению за счет сил вязкости. Силу этого сопротивления можно определить по формуле

Стокса, предполагая, что обтекание частиц ламинарное:

$$F = 3 \cdot \pi \cdot v_R \cdot \mu \cdot d,$$

где v_R - скорость движения частицы в радиальном направлении, м/с,

μ - вязкость газа, Па,

d - диаметр частицы, м.

Отсюда получаем значение скорости радиального движения частицы:

$$\frac{m \cdot V_T^2}{R} = 3 \cdot \pi \cdot v_R \cdot \mu \cdot d$$

$$v_r = \frac{m \cdot V_T}{3 \cdot R \cdot \pi \cdot \mu \cdot d} = \frac{d^2 \cdot V_T^2 \cdot \rho}{18 \cdot R \cdot \mu}$$

Из всех, движущихся в потоке, частиц наибольший путь пройдет частица, находившаяся при входе в циклон вблизи выхлопной трубы.

Ее путь равен $R_{\text{вых.тр.}} - R_{\text{цилиндр}}$,

где $R_{\text{вых.тр.}}$ - радиус выхлопной трубы циклона, м;

$R_{\text{цилиндр}}$ - радиус цилиндрической части циклона, м.

Время, затрачиваемое частицей на прохождение этого пути:

$$\tau = \frac{R_{\text{цилиндр}} - R_{\text{вых.тр.}}}{v_R}$$

В формуле, выражающей v_R , величина R - переменная. Она изменяется в пределах $R_{\text{вых.тр.}} < R < R_{\text{цилиндр}}$, и ее среднее значение можно принять, как:

$$R = \frac{R_{\text{вых.тр.}} + R_{\text{цилиндр}}}{2}$$

Рассчитаем минимальный размер частиц, улавливаемых циклоном, d_{min} . Согласно допущению улавливаются все частицы, осевшие на стенках циклона, то есть успевшие пройти путь $R_{\text{цилиндр}} - R_{\text{вых.тр.}}$ за время прохождения циклона газовым потоком, то есть за время нахождения частицы в циклоне:

$$d_{\text{min}} = \sqrt{\frac{9 \cdot \mu \cdot (R_{\text{цилиндр}}^2 - R_{\text{вых.тр.}}^2)}{\rho \cdot V_T^2 \cdot \tau}} = \sqrt{\frac{9 \cdot \mu \cdot (R_{\text{цилиндр}}^2 - R_{\text{вых.тр.}}^2)}{2 \cdot \pi \cdot \rho \cdot V_T \cdot R \cdot n}}$$

$$\text{Для расчетов принимают } d_{\text{min}} = \sqrt{\frac{9 \cdot \mu \cdot (R_{\text{цилиндр}} - R_{\text{вых.тр.}}),}{\pi \cdot \rho \cdot V_T \cdot n}}$$

где n - число оборотов, которые совершает газовый поток в циклоне, обычно принимают $n = 2$.

Подготовить программу для вычислительной машины на любом языке программирования или в среде MathCad. При расчетах перевести размерность величин в систему СИ, то есть геометрические размеры перевести в метры.

Таблица 2 - Основные размеры циклонов в зависимости

N	Наименование	Высота, мм	Масса, кг	Диаметр, мм	Производительность, куб_м/ч	Радиус цилиндра части, мм	Радиус выхлоп трубы	Гидравл сопротивл
1	Циклон ЦН-15-300	3168	40	300	828	150	100	160
3	Циклон ЦН-24-700	2982	257	700	6200	350	235	60
4	Циклон ЦН-15-400	1825	72	400	1450	200	135	160
5	Циклон ЦН-15-450	2052	91	450	1835	225	150	160
6	Циклон ЦН-15-500	2280	112	500	146	250	170	160
7	Циклон ЦН-15-550	2508	136	550	2740	275	185	160
9	Циклон ЦН-15-600	2736	162	600	3262	300	200	160
10	Циклон ЦН-15-650	2964	190	650	3825	325	220	160
11	Циклон ЦН-11-400	1862	65	400	970	200	135	250
12	Циклон ЦН-11-500	2300	88	500	1510	250	170	250
13	Циклон ЦН-11-630	2870	247	630	2403	315	210	250
14	Циклон ЦН-11-800	3615	319	800	3880	400	270	250
15	Циклон СК-ЦН-34-400	1174	35	400	1100	200	135	200
16	Циклон СК-ЦН-34-500	1468	54	500	1800	250	170	200
17	Циклон СК-ЦН-34-600	1740	77	600	2500	300	200	200
18	Циклон СК-ЦН-34-700	2022	105	700	3500	350	235	200
19	Циклон СК-ЦН-34-800	2678	137	800	4500	400	270	200
20	Циклон ЦН-24-400	1704	84	400	2000	200	135	60
21	Циклон ЦН-24-500	2130	131	500	3200	250	170	60
22	Циклон ЦН-24-600	2556	189	600	4600	300	200	60

Таблица 3 - Свойства газов при нормальных условиях

Газ	Плотность, кг/куб.м	Молекулярная μ	Газовая постоянная	удельная теплоемкость, дж	динам_вязкость при 0 °, Па*с
1 Азот	1,2507	28,02	297	1,04	0,000017
2 Аммиак	1,771	17,03	488	2,24	0,000918
3 Аргон	1,782	39,94	209	0,53	0,000209
4 Ацетилен	1,171	26,04	320	1,68	0,000935
5 Бутан	2,6373	58,12	143	1,91	0,000081
6 Воздух	1,293	28,95	288	1,01	0,000173
7 Водород	0,08985	2,016	4130	1,42	0,0000842
8 Гелий	0,1785	4	2080	5,27	0,000188
9 Двуокись серы	2,987	64,07	130	0,631	0,000117
10 Двуокись углерода	1,976	44,01	189	0,836	0,000137
11 Кислород	1,42895	32	260	0,911	0,000203
12 Метан	0,717	16,04	519	2,22	0,000103
13 Окись углерода	1,25	28,01	297	1,05	0,00016

Таблица 4- Свойства твердых веществ

Название	плотность кг/м ³
бетон	2300
дорожная пыль	1600
зола древесная	780
кирпич	1800
мрамор	2700

песок	1300-1600
пыль цемента, извести	2800
торф	400

Варианты задания 1

№ вар	Наименование типа циклона	Газовая среда	Скорость потока V_T , м/с	Вид частиц	Диаметр частиц d , м	Исследовать
1	ЦН-15-300	воздух	3	пыль а) дорожная б) торфяная ; в) кирпичная т.е плотность изменяется от 400 до 1800 кг/м ³	0.001-0.005	выходные характеристики циклона при очистке воздуха от разных видов загрязнений в зависимости от плотности и размера частиц пыли
2	ЦН-24-500	воздух	2.5	пыль а) дорожная б) торфяная в) песок, т.е плотность изменяется от 400 до 1800 кг/м ³	0.0005-0.005	выходные характеристики циклона при очистке воздуха от разных видов загрязнений в зависимости от плотности частиц пыли и размера частиц
3	ЦН-11-800	азот	3	пыль а) торфяная б) зола в) древесная, т.е плотность изменяется от 400 до 800 кг/м ³	от 0.001 до 0.005	выходные характеристики циклона при очистке азота от разных видов загрязнений в зависимости от размера частиц пыли
4	ЦН-15-300 ЦН-15-600	метан	2	песок	от 0.001 до 0.005	выходные характеристики 2 циклонов в зависимости от размера частиц песка
5	СК-ЦН-34-	бутан	от 1 до 4	песок	0.001-0.005	выходные характеристики в

	600		м/с			зависимости от скорости потока и размера частиц
6	ЦН-11-800	воздух	от 1 до 4 м/с	мрамор	0.001-0.005	выходные характеристики в зависимости от скорости потока и размера частиц
7	СК-ЦН-34-800 СК-ЦН-34-500	метан	от 2 до 5 м/с	зола	0.0001-0.005	выходные характеристики в зависимости от типа циклона, скорости потока и размера частиц
8	СК-ЦН-34-600 СК-ЦН-34-800	воздух	3	Изменение плотности частиц от 400 до 2800 (от торфа до цемента)	0.005	выходные характеристики в зависимости от типа циклона и плотности частиц
9	ЦН-11-400 ЦН-11-630	метан	2.5	цемент	0.001-0.005	выходные характеристики в зависимости от типа циклона и размера частиц
10	СК-ЦН-34-800 СК-ЦН-34-400	воздух	1-5	пыль цемента, извести	0.001-0.005	выходные характеристики в зависимости от типа циклона и размера частиц

Список использованной литературы

1. Касаткин, А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии / А.Г. Касаткин. – Москва: Государственное научно-техническое издательство химической литературы, 1961. – 832 с.

2. Процессы и аппараты химической технологии (основы инженерной химии) : учебник для вузов / Н. Н. Смирнов [и др.] ; под ред. Н. Н. Смирнова. – СПб. : Химия, 1996.– 408 с.
3. Пылеулавливающее оборудование [Электронный ресурс] / ООО «Вентиляционные системы» – пылеулавливающие циклоны. – Электрон.дан. – Режим доступа :<http://www.cikloni.ru/>, свободный. – Загл. с экрана.
4. Норенков, И. П. Автоматизированные информационные системы : учеб.пособие для вузов / И. П. Норенков. – М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. – 342 с.

Задание 2

Моделирование каталитического реактора кожухотрубчатого типа

Цель работы: изучение особенностей моделирования каталитических химических процессов, сопровождающихся выделением или поглощением тепла, на примере реактора кожухотрубчатого типа с катализатором, помещенным в трубное пространство.

1 Теоретические сведения

Многие процессы химической технологии осуществляются в аппаратах кожухотрубчатого типа. В таких аппаратах чаще всего проводят химические реакции, характеризующиеся необходимостью подвода тепла извне, либо охлаждения (экзо- и эндотермические реакции). При этом процессы могут идти в присутствии катализатора либо в газофазном потоке.

В качестве моделируемого процесса в работе рассмотрен процесс риформинга, который в схематичном виде можно представить следующим образом:



Реакция сопровождается выделением тепла, следовательно, для поддержания требуемого температурного режима необходим постоянный отвод тепла. Однако переохлаждение реакционного пространства недопустимо, так как в этом случае реакция затухает.

Для составления математического описания реактора приняты следующие допущения:

1. Трубное пространство реактора соответствует модели реактора идеального вытеснения.
 2. В кожухотрубном пространстве температура постоянна.
- Скорость химической реакции представляет собой функцию состава

реакционной массы, температуры, давления и других факторов.

Пусть выражение для скорости реакции имеет вид:

$$w = K C_A = K_0 e^{-\frac{q}{T}} C_A, \quad q = \frac{E}{R}, \quad (1)$$

где C_A – концентрация исходного компонента, кмоль/м³;

K – константа скорости реакции, 1/мин;

T – температура смеси, К;

R – универсальная газовая постоянная, Дж/кмоль·К;

E – энергия активации, Дж/кмоль;

K_{0i} – предэкспоненциальный множитель, 1/мин.

Дифференциальное уравнение, описывающее изменение концентрации компонента A , имеет следующий вид:

$$F \frac{\partial C_A}{\partial t} = -v \frac{\partial C_A}{\partial l} + F q_A, \quad (2)$$

где F – площадь теплообмена, м²;

t – время, мин;

v – объемный расход реакционной массы, м³/мин;

q_A – интенсивность расходования исходного вещества, кмоль/м³·мин.

Разделив уравнение (2) на F и с учетом того, что $q_A = -w$, получим

$$\frac{\partial C_A}{\partial t} = -\frac{v}{F} \frac{\partial C_A}{\partial l} - K_0 e^{-\frac{q}{T}} C_A. \quad (3)$$

Как упоминалось выше, рассматриваемая реакция является экзотермической (идет с выделением тепла), поэтому в математическом описании необходимо учесть тепловой эффект реакции и теплообмен реагирующего в трубном пространстве потока со средой, находящейся в межтрубном пространстве.

Уравнение теплового баланса имеет вид

$$F c_p \frac{\partial T}{\partial t} = -v c_p \frac{\partial T}{\partial l} + F(-\Delta H)w + \frac{K_T F}{L} (T_x - T), \quad (4)$$

где c_p – удельная теплоемкость исходного реагента, Дж/м³·К;

ΔH – изменение энтальпии реакции, Дж/кмоль;

K_T – коэффициент теплопередачи, Вт/м²·К;

T_x – температура хладагента, подаваемого в межтрубное пространство,

К;

F – суммарная площадь поперечного сечения трубного пространства, м²;

L – длина труб, м.

Рассмотрим установившийся режим работы реактора, для которого $\frac{\partial T}{\partial t} = 0$, $\frac{\partial C_A}{\partial t} = 0$. Тогда уравнения (3) и (4) приобретают вид

$$\begin{cases} \frac{dC_A}{dl} = -\frac{F}{v} K_0 e^{-\frac{q}{T}} C_A, \\ \frac{dT}{dl} = -\frac{F}{vc_p} (-\Delta H) w + \frac{K_T F}{Lvc_p} (T_x - T). \end{cases} \quad (5)$$

Введя обозначения $\frac{F}{v} K_0 = K'_0$, $\frac{1}{c_p} (-\Delta H) = a_1$, $\frac{K_T F}{Lvc_p} = a_2$, систему (5) можно переписать в следующем виде:

$$\begin{cases} \frac{dC_A}{dl} = -K'_0 e^{-\frac{q}{T}} C_A, \\ \frac{dT}{dl} = -\frac{F}{v} a_1 K_0 e^{-\frac{q}{T}} C_A + a_2 (T_x - T). \end{cases} \quad (6)$$

Применительно к кожухотрубчатому каталитическому реактору изменение температуры и концентрации исходного реагента нагляднее изучать не по длине аппарата, а по времени пребывания элементов потока в аппарате (реакционной зоне):

$$\bar{\tau} = \frac{LF}{v}, \quad (7)$$

где $\bar{\tau}$ – среднее время пребывания вещества в аппарате.

Выразим текущее время пребывания как функцию конструктивных характеристик аппарата и расхода потока:

$$\tau = \frac{lF}{v}, \quad (8)$$

где τ – время пребывания вещества в аппарате.

Из (8) можно получить, что $d\tau = \frac{F}{v} dl$ и

$$dl = \frac{v}{F} d\tau. \quad (9)$$

После подстановки (9) в (6) получим

$$\begin{cases} \frac{dC_A}{d\tau} = -\frac{K_0'v}{F} e^{-\frac{q}{T}C_A}, \\ \frac{dT}{d\tau} = a_1K_0e^{-\frac{q}{T}C_A} + \frac{v}{F}a_2(T_x - T). \end{cases} \quad (10)$$

Для упрощения системы (10) все постоянные коэффициенты можно сгруппировать и переобозначить:

$$\begin{cases} \frac{K_0'v}{F} = K_0, \\ \frac{v}{F}a_2 = a_2. \end{cases} \quad (11)$$

С учетом (11) система (10) приобретает окончательный вид

$$\begin{cases} \frac{dC_A}{d\tau} = -K_0e^{-\frac{q}{T}C_A}, \\ \frac{dT}{d\tau} = a_1K_0e^{-\frac{q}{T}C_A} + a_2(T_x - T). \end{cases} \quad (12)$$

Система (12) решается любым из известных методов численного или аналитического решения систем дифференциальных уравнений при наличии начальных условий ($C_A(0) = C_A^0; T(0) = T^0$) с использованием данных о конструктивных характеристиках аппарата, физических свойствах смеси, тепловом эффекте реакции.

2 Задание и порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с теоретическими сведениями.
2. В соответствии с вариантом задания (таблица 5) составить систему дифференциальных уравнений вида (12).
3. Используя один из методов решения систем дифференциальных уравнений пакета Mathcad, получить кривые состояния реактора по температуре и концентрации исходного вещества.
4. Для заданной температуры и концентрации реагентов на входе подобрать максимально допустимую температуру хладагента (T_x), при которой температура смеси в реакторе не превышает заданного значения $T_{огр}$.
5. Сделать выводы по работе.

3 Содержание отчета

1. Теоретические сведения.
2. Исходные данные и результат работы (найденное значение T_x).
3. Таблицы зависимостей $C_A = f(\tau), T = f(\tau)$.
4. Графики зависимостей $C_A = f(\tau), T = f(\tau)$.
5. Выводы по работе.

Таблица 5 – Варианты задания 2

№	q, K	$K_0, 1/\text{мин}$	$a_1,$ $K \cdot m^3/\text{кмоль}$	$a_2,$ $1/\text{мин}$	$C_A^0,$ $\text{кмоль}/\text{м}^3$	T^0, K	$T_{\text{огр}},$ K
1	9000	$1,00 \cdot 10^{11}$	400	1	0,1	400	430
2	10000	$5,00 \cdot 10^{10}$	350	1,5	0,25	425	440
3	9500	$7,50 \cdot 10^{10}$	375	1,25	0,2	410	420
4	9750	$1,25 \cdot 10^{11}$	425	1,1	0,3	400	445
5	9000	$5,00 \cdot 10^{10}$	350	0,75	0,25	425	420
6	10000	$7,50 \cdot 10^{10}$	375	1,25	0,2	410	430
7	9500	$1,25 \cdot 10^{11}$	425	1,1	0,3	400	440
8	9750	$1,00 \cdot 10^{11}$	350	0,75	0,25	425	420
9	10000	$5,00 \cdot 10^{10}$	375	1,25	0,2	410	445
10	9500	$7,50 \cdot 10^{10}$	425	1,1	0,3	425	420