Министерство общего и профессионального образования

Российской федерации

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

«Тюменский государственный нефтегазовый университет»

Институт Нефти и Газа

Кафедра «Автоматизации и управления»

Ведерникова Ю.А.

Моделирование систем управления

Методические указания

к курсовой работе

для студентов очной, заочной и заочной сокращенной формы обучения

специальности 220301 «Автоматизация

технологических процессов и производств»

Тюмень 2007

Содержание

[ВВЕДЕНИЕ 2](#_Toc182998661)

[1. Задание к курсовой работе 2](#_Toc182998662)

[2. Планирование эксперимента 2](#_Toc182998663)

[3. Описание программы АБСОРБЕР 2](#_Toc182998664)

[4. Методика построения модели 2](#_Toc182998665)

[4.1. Оценка точности результатов измерений 2](#_Toc182998666)

[4.1.1. Определение основных статистических характеристик параллельных опытов 2](#_Toc182998667)

[4.1.2. Проверка результатов измерений по критерию грубой ошибки 2](#_Toc182998668)

[4.1.3. Определение дисперсии воспроизводимости 2](#_Toc182998669)

[4.2. Расчет коэффициентов модели 2](#_Toc182998670)

[4.3. Проверка модели на адекватность 2](#_Toc182998671)

[5. ОБЪЕМ, Содержание и ОФОРМЛЕНИЕ курсовой работы 2](#_Toc182998672)

[5.1. Оформление курсовой работы 2](#_Toc182998673)

[5.2. Содержание курсовой работы 2](#_Toc182998674)

[5.3. Структура курсовой работы 2](#_Toc182998675)

[ПРИЛОЖЕНИЕ А 2](#_Toc182998676)

[ПРИЛОЖЕНИЕ Б 2](#_Toc182998677)

[ПРИЛОЖЕНИЕ В 2](#_Toc182998678)

[ПРИЛОЖЕНИЕ Г 2](#_Toc182998679)

[ПРИЛОЖЕНИЕ Д 2](#_Toc182998680)

[Приложение Е 2](#_Toc182998681)

[Приложение Ж 2](#_Toc182998682)

[Приложение И 2](#_Toc182998683)

[Приложение К 2](#_Toc182998684)

[список рекомендуемой лИТЕРАТУРы 2](#_Toc182998685)

# ВВЕДЕНИЕ

Моделирование – основной метод исследований во всех областях знаний, научно-обоснованный способ получения оценок параметров и изучения свойств технических систем, необходимых для принятия решений в различных сферах инженерной деятельности.

Моделирование помогает понять и упорядочить результаты эмпирических наблюдений, создать логический каркас научной теории, обнаружить внутренние связи и соотношения между результатами эксперимента.

При построении математических моделей по экспериментальным данным в различных областях науки и прикладных задачах широко используется метод наименьших квадратов, позволяющий построить унифицированные модели для различных явлений.

Курсовая работа посвящена вопросам построения статических моделей технологических процессов и аппаратов. Служит закреплению у студентов навыков решения задач эмпирического моделирования, является логическим продолжением лекционного и лабораторного курсов "МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ", построена на основе знаний материала таких дисциплин, как "ВЫСШАЯ МАТЕМАТИКА", "ФИЗИКА", "ИЗМЕРЕНИЯ И ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА", “МЕТРОЛОГИЯ” , ”ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ И ПРИБОРЫ”.

Цель работы: Получение статической модели технологического аппарата (абсорбера) с использованием регрессионных процедур по методу наименьших квадратов.

# Задание к курсовой работе

Для выполнения курсовой работы необходимо:

1. В соответствии с номером задания, указанным преподавателем, выбрать из таблицы 1.1 числовые данные;
2. Составить план эксперимента с учетом того, что для расчета модели необходимо получить:
3. r = 25 -30 наборов входных и выходных параметров объекта.
4. три группы параллельных опытов по 10-15 опытов в каждой группе. При проведении параллельных опытов на вход объекта подают одинаковые комбинации входных параметров, что позволяет оценить воспроизводимость эксперимента. Значения входных параметров для параллельных опытов выбирать произвольно.
5. Получить данные активного эксперимента, используя программную модель абсорбера (программа АБСОРБЕР).

4.По результатам эксперимента строится математическая модель абсорбера.

5.Проверку модели на адекватность произвести с помощью критерия Фишера и по корреляционной функции остатков.

Таблица 1.1 - Таблица выбора задания

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Номер задания | Номер варианта | Кратность помехи | G(м3/с) | Т(0С) | L(м3/с) | X(кг/м3) | α |
| 1 | 1 | 2 | var | 5 | var | 22 | 5 |
| 2 | 4 | 3 | 10000 | var | var | 34 | 10 |
| 3 | 2 | 2 | var | 10 | 34 | var | 5 |
| 4 | 3 | 4 | 20000 | var | 48 | var | 10 |
| 5 | 3 | 1 | 25000 | var | 70 | var | 5 |
| 6 | 4 | 2 | 20000 | var | var | 50 | 10 |
| 7 | 1 | 3 | var | 25 | var | 45 | 10 |
| 8 | 3 | 2 | 10000 | var | 56 | var | 5 |
| 9 | 2 | 2 | var | 17 | 67 | var | 5 |
| 10 | 1 | 1 | var | 27 | var | 48 | 10 |
| 11 | 4 | 4 | 12000 | var | var | 28 | 10 |
| 12 | 3 | 3 | 28000 | var | 57 | var | 5 |
| 13 | 4 | 2 | 19000 | var | var | 36 | 5 |
| 14 | 1 | 4 | var | 9 | var | 44 | 5 |
| 15 | 3 | 3 | 23000 | var | 32 | var | 5 |
| 16 | 2 | 3 | var | 24 | 44 | var | 10 |
| 17 | 2 | 4 | var | 20 | 61 | var | 5 |
| 18 | 3 | 4 | 16000 | var | 55 | var | 10 |
| 19 | 4 | 3 | 26000 | var | var | 28 | 10 |

Продолжение таблицы 1.1.

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Номер задания | Номер варианта | Кратность помехи | G(м3/с) | Т(0С) | L(м3/с) | X(кг/м3) | α |
| 20 | 1 | 3 | var | 13 | var | 32 | 5 |
| 21 | 3 | 1 | 29000 | var | 60 | var | 10 |
| 22 | 2 | 3 | var | 30 | 35 | var | 10 |
| 23 | 4 | 2 | 14000 | var | var | 41 | 10 |
| 24 | 1 | 2 | var | 11 | var | 47 | 5 |
| 25 | 4 | 1 | 17000 | var | var | 21 | 10 |
| 26 | 3 | 3 | 12000 | var | 40 | var | 10 |
| 27 | 4 | 4 | 25000 | var | var | 34 | 10 |
| 28 | 2 | 3 | var | 17 | 58 | var | 5 |
| 29 | 1 | 2 | var | 21 | var | 24 | 5 |
| 30 | 2 | 4 | var | 7 | 33 | var | 10 |

# Планирование эксперимента

На соответствующие входы абсорбера поступают природный газ и жидкий абсорбент. С выхода осушенный газ отбирается на компремирование и подачу в систему магистральных газопроводов (Рисунок 1.1.).

Независимые (варьируемые) параметры процесса осушки газа и предельные значения для них приведены в таблице 1.2. Расход осушенного газа (Y, м3/час) на выходе абсорбера является зависимым параметром.

Таблица 1.2 - Входные параметры процесса абсорбции.

|  |  |
| --- | --- |
| Параметр | Пределы измерения. |
| температура газа (T, 0C) | 5 - 30 |
| расход газа (G, м3 /час) | 10000 - 30000 |
| концентрация абсорбента (X, кг/м3) | 20 - 50 |
| расход абсорбента.(L, м3/час) | 30 -70 |

В каждом варианте задания два из четырёх входных параметров считаются постоянными. Поэтому модель, которая должна быть получена в результате выполнения курсовой работы, будет двухпараметрической. Например, для задания №6 уравнение регрессии задается вариантом №4 Y = f (T,L), где G и X - константы, а T и L - переменные (variable).

Для составления плана эксперимента диапазоны изменения варьируемых параметров разбиваются на равные интервалы. Число интервалов и их ширина выбираются таким образом , чтобы было получено

r = 25-30 комбинаций входных параметров. Например, план эксперимента для варианта №3 представлен в таблице 1.3. Такой план включает все возможные комбинации входных параметров. Температура газа изменяется в пределах от 5 до 30 0С. Разбиваем этот диапазон на 5 интервалов по 50С, получая, таким образом, l = 6 значений. Диапазон изменения расхода абсорбента - от 30 до 70 м3/ч - разбиваем на 4 диапазона по 10 м3/ч каждый, получая k=5 значений. Общее число экспериментов r = k \* l = 5 \* 6 = 30. На этом плане произвольно выбирается 3 точки, в которых будут проводиться параллельные опыты (отмечены знаком ).

С целью получения экспериментальных данных для расчета модели объекта в соответствии с составленным планом необходимо провести активный эксперимент, используя программную модель абсорбера (программа АБСОРБЕР).

Таблица 1.3 - План эксперимента

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| TL | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 |
| 30 |  |  |  |  |  |  |
| 40 |  |  |  |  |  |  |
| 50 |  |  |  |  |  |  |
| 60 |  |  |  |  |  |  |
| 70 |  |  |  |  |  |  |

# Описание программы АБСОРБЕР

Запускающим файлом программы является a:\MOD\am.bat. Программа выводит на экран графическое изображение газового абсорбера (Рисунок 1).

Работа с программой начинается выбором номера варианта (Таблица 1.1.). (*Пока номер варианта не будет выбран стрелка-курсор будет перемещаться только в поле выбора варианта.* )

После задания программе номера варианта появится курсор в поле "КРАТНОСТЬ ПОМЕХИ", куда следует ввести данную величину из таблицы 1.1. После этого стрелка переместится на свободное поле и может с помощью клавиш курсора или мыши передвигаться по технологической мнемосхеме. Далее последовательно выбираются и задаются все независимые параметры. Для выбора параметра необходимо щелкнуть левой кнопкой мыши на соответствующей кнопке после чего в поле ввода числового значения появляется курсор, исчезающий только после ввода правильного значения. *(Если вы ошиблись при вводе значения - случайно ввели не ту цифру, то введите значение, выходящее за допустимые пределы изменения данного параметра. Программа не воспримет это значение и вновь появится курсор в поле ввода числового значения)*.

Параметры, указанные в таблицу 1.1 в виде фиксированного числа, являются для выбранного варианта неизменными. А те величины, которые присутствуют в описании типа функции регрессии на мнемосхеме и не заданы в явной форме (var в таблице 1.1), используются в проведении эксперимента в качестве аргументов. Сначала в произвольном порядке вводятся все величины G, T, L, X. После проведения первого эксперимента Значения постоянных параметров больше не вводят, а лишь изменяют значения варьируемых переменных до тех пор, пока составленный план эксперимента не будет реализован полностью. По окончании набора данных необходимо стрелку-курсор переместить на поле выходного параметра Y и щёлкнуть правой кнопкой манипулятора “мышь”. .При этом программа переместится в базу данных, где будут находиться все экспериментальные результаты. Для сохранения полученной информации НЕОБХОДИМО ПРОДУБЛИРОВАТЬ файл a:\MOD\readme, переписав его на дискету для личного пользования, либо скопировать в переименованный файл, например, a:\MOD\readme1, поскольку вторичный запуск программы уничтожит предыдущую базу данных. После проверки соответствия составленного плана и полученных результатов первый этап работы считается завершенным.

Вторым этапом является проведение параллельных опытов. Для чего повторно запускается программа a:\MOD\am.bat и проводят опыты для выбранных при планировании эксперимента входных параметров.

Таким образом, в результате проведения эксперимента, должно быть получено два набора входных и выходных параметров абсорбера: один – включает различные комбинации входных параметров и будет использоваться для построения модели, а второй – при фиксированных значения входных параметров (параллельные опыты)– позволит оценить точность результатов измерений.

FE

TE

FE

QE

G

T

L

X

5 - 30

0C

10000 - 30000

м3/ч

кг/м3

м3/ч

Кратность помехи

1 - 20

Y

X1

Выход абсорбента

Газ

Абсорбент

Выход осушенного газа

FE

30 - 70

20 - 50

Рисунок 1.1. Графическое изображение абсорбера.

# Методика построения модели

## Оценка точности результатов измерений

### Определение основных статистических характеристик параллельных опытов

 Для каждой группы параллельных опытов определяются следующие статистические характеристики:

1. Максимальное значение -  ;
2. Минимальное значение -  ;
3. Среднее значение - , где число опытов в данной группе (объём выборки);
4. Дисперсия - ;
5. Среднее квадратичное отклонение .

### Проверка результатов измерений по критерию грубой ошибки

Для оценки выборочных данных по критерию наличия грубой ошибки (R критерий) для каждой выборки, полученной в результате проведения параллельных опытов, вычисляются величины:

 и .

Расчетные значение  и  сравниваются с . (приложение И). Табличное значение  выбирают для уровня значимости и числа степеней свободы , где  - объем выборки.. Если

 (или )

принимают, что отклонение  (или ) определяется случайными явлениями и принадлежит данной генеральной совокупности, в противном случае результат отбрасывается как грубый промах и оценку по R-критерию повторяют для следующего  (или ) с пересчитанными значениями основных статистических характеристик.

### Определение дисперсии воспроизводимости

Дисперсию воспроизводимости () определяют путём сравнения выборочных дисперсий для параллельных опытов. При одинаковом числе опытов во всех выборках для сравнения дисперсий пользуются критерием Кохрена, а при различном числе - критерием Бартлета.

**Критерий Кохрена.** Рассчитывается значение

;

и сравнивается с  (приложение Ж), выбранным для числа сравниваемых дисперсий и числа степеней свободы, с которым определена каждая дисперсия. Если , сравниваемые дисперсии можно считать однородными, следовательно их можно усреднить. А значит дисперсия воспризводимости

.

**Критерий Бартлета.** Рассчитывается средневзвешенное значение дисперсии:



и величины





где n - число сравниваемых дисперсий.

Если выполняется равенство



где  - табличное значение для с  степенями свободы (приложение К),

различия между дисперсиями можно считать не значимыми, а сами дисперсии - однородными. В качестве дисперсия воспроизводимости в этом случае можно использовать средневзвешенную дисперсию:

.

 Если при сравнении дисперсий по критерию Кохрена или по критерию Бартлета принято решение о значимом различии между дисперсиями, то в качестве дисперсии воспроизводимости выбирают меньшую из сравниваемых дисперсий.

Значение , определённое на этом этапе, в последующем используется для оценки адекватности построенной математической модели.

## Расчет коэффициентов модели

Процесс создания модели начинается с выбора типа модели и, как правило, на первом этапе останавливаются на линейном варианте в форме алгебраического многочлена:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (1) |

где ,  - неизвестные коэффициенты модели,

 ,  - варьируемые входные параметры объёкта.

Поиск неизвестных коэффициентов осуществляют с помощью регрессии по методу наименьших квадратов [1,2,6] . При выполнении курсовой работы для расчета коэффициентов модели можно использовать пакеты прикладных программ - например, Microsoft Excel [7], MathCAD [4], МатLab [2], STATGRAPHICS [8] и др.

После вычисления неизвестных коэффициентов рассчитывают остаточную дисперсию:

,

где  - экспериментальное значение выходного параметра для определенных входных сигналов;

- величина выходного параметра, расcчитанного по модели при тех же значениях входных сигналов;

- число коэффициентов в уравнении модели;

- число экспериментальных значений, по которым производился расчет коэффициентов модели.

## Проверка модели на адекватность

Значения коэффициентов в уравнении регрессии (1), полученные по методу наименьших квадратов, являются оптимальными для выбранной математической модели, однако не всегда корректно останавливаться на этом. Процесс создания модели должен заканчиваться объективной оценкой, насколько точно построенная модель описывает идентифицируемый объект.

Проверка модели на адекватность производится путём сравнения суммы квадратов отклонений экспериментальных данных от рассчитанных по модели (остаточная дисперсия) с показателем точности проводимых измерений (дисперсия воспроизводимости ). Подобная процедура известна в теории регрессионного анализа под названием "критерий Фишера" (F -критерий). С помощью этого критерия производят сравнение двух дисперсий, рассчитывая отношение большей дисперсии к меньшей и сравнивая полученный результат с табличным значением.  (приложение Е), выбранным для уровня значимости  и чисел степеней свободы и для  и  соответственно (,).

,

Если ., то с достоверностью в (1 - α)\*100% считают модель адекватной объекту, если нет - с той же достоверностью вероятно противоположное утверждение.

В случае, когда адекватность модели не подтвердилась, необходимо вернуться к началу п.2.2 и изменить вид модели. Чаще всего в такой ситуации просто увеличивают порядок модели и весь последующий расчет повторяют.

 Проверка адекватности модели по корреляционной функции остатков производится для подтверждения результатов, полученных по критерию Фишера. Для этого строится график корреляционной функции, рассчитанной по формуле:

 ,

где – число опытов;

  - остатки, определяемые как .

По графику корреляционной функции определяется интервал корреляции. Для адекватной модели корреляции в остатках наблюдаться не должно.

# ОБЪЕМ, Содержание и ОФОРМЛЕНИЕ курсовой работы

## Оформление курсовой работы

Данные рекомендации по оформлению курсовой работы составлены согласно ГОСТ 7.32-2001.

Курсовая работа выполняется машинописным способом с помощью компьютера через полтора межстрочных интервала. Высота букв и цифр должна быть не менее 1.8 мм (шрифт Times New Roman, размер шрифта - 14 пт). Рекомендуемый объем 20-25 страниц.

Текст курсовой работы оформляется с соблюдением полей страницы: расстояние от кромки листа до границы текста сверху и снизу должно быть соответственно 20 и 30 мм, слева оставляются поля 30 мм, справа - 10 мм, расстояние между заголовками и текстом на страницах - 10÷15 мм.

Текстовая часть пояснительной записки делится на разделы, подразделы, пункты и подпункты, которые должны быть пронумерованы арабскими цифрами. Например: 1. - первый раздел, 1.2. - второй подраздел первого раздела; 1.2.3. - третий пункт второго подраздела из первого раздела и т.д.

Названия разделов записывают в виде заголовков прописными буквами симметрично тексту. Название подразделов в виде заголовков записывают (с абзаца – 15 мм) строчными буквами (кроме первой прописной). Точку в конце заголовка не ставят. Переносы слов в заголовках не допускаются.

Содержащиеся нумерованные списки обозначают арабскими цифрами со скобкой, например: 1), 2), 3) и т.д. Каждый элемент списка записывают с красной строки.

Реферат, содержание, введение, разделы текста курсовой работы, заключение, список использованных источников следует начинать с новой страницы прописными буквами.

Содержание включает наименование всех разделов, подразделов, пунктов с указанием номеров страниц. Пример содержания курсовой работы приведен в приложении В.

Введение должно содержать оценку современного состояния решаемой научно-технической проблемы, обоснование необходимости проведения работы. Во введении должны быть показаны актуальность и новизна темы.

Заключение должно содержать краткие выводы по всем разделам работы.

Список использованных источников должен содержать порядковый номер, который в тексте записки (в месте его упоминания) следует приводить в квадратных скобках ([ ]). Пример списка использованных источников приведен в приложении Д.

Все расчеты должны быть выполнены с использованием Международной Системы Единиц (СИ).

Формулы и уравнения должны быть созданы при помощи Microsoft Equation и иметь сквозную нумерацию. Допускается нумерация формул в пределах раздела. Нумерация формул дается арабскими цифрами в круглых скобках и размещается справа от формулы на одном с ней уровне в конце строки.

Пример обозначения формулы, нумерация которой производится в пределах раздела:

  (1.2)

где: k – коэффициент пропорциональности;

 ∆p – перепад давления.

(1 – номер раздела, 2 – порядковый номер в разделе).

В тексте перед обозначением какого-либо параметра дается его пояснение с учетом буквы обозначения, например: давление (Р), температура (Т) и т.д.

Если уравнение не умещается в одну строку, то оно должно быть перенесено после знака равенства (=) или после знаков плюс (+) или минус (–), умножения (x), деления (:), причём знак в начале следующей строки повторяют.

Применяемые формулы и справочные данные обязательно должны иметь ссылки на источники их получения.

Проведенные расчеты иллюстрируются схемами, графиками, выполненными с помощью компьютерной графики. Схемы, рисунки, графики и т.п. должны быть единообразными по оформлению и размещаться по тексту сразу же после ссылки на них.

Таблицы и рисунки имеют сквозную нумерацию и сопровождаются краткой надписью. Допускается нумерация таблиц и рисунков в пределах раздела

Нумерация таблиц размещается в левом верхнем углу в одну строку через тире с названием таблицы. Заголовки граф и строк следует писать с прописной буквы.

Пример обозначения таблицы, нумерация которой производится в пределах раздела.

 Таблица 1.2 – Название таблицы

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| № | Наименование параметра | Ед. изм. | Значение |
| 1 | Расход газа |  | 100 |
| 2 | Температура газа |  | 15 |

При переносе части таблицы на другую страницу пишут слово “Продолжение”. Например:

Продолжение таблицы 1.2

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| № | Наименование параметра | Ед. изм. | Значение |
| 3 | Концентрация ДЭГа |  | 10 |

Допускается применять размер шрифта в таблице меньший, чем в тексте.

Рисунки следует располагать в работе непосредственно после текста, в котором они упоминаются впервые, или на следующей странице.

Рисунки должны иметь название, которое помещают под рисунком, ниже помещают поясняющие данные (подрисуночный текст).

Рисунок обозначается словом «Рисунок», которое ставится перед поясняющими данными. Если нумерация производится в пределах раздела, например, Рисунок 1.2., то цифра 1 - номер раздела, цифра 2 - порядковый номер рисунка (приложение Г).

Страницы в курсовой работе должны иметь сквозную нумерацию, начиная с титульного листа (на титульном листе номер страницы не ставится), включая все страницы с рисунками, таблицами, приложениями. Нумерация страниц указывается внизу страницы в центре без точки в конце.

Приложения оформляются как продолжение пояснительной записки на последующих страницах. Каждое приложение следует начинать с новой страницы с указанием наверху по центру страницы прописными буквами слова «ПРИЛОЖЕНИЕ», обозначенное буквами, например «ПРИЛОЖЕНИЕ А, Б, В, Г, Д, Е, Ж, И, К, Л, М» (за исключением букв Ё, З, Й, О, Ч, Ь, Ы, Ъ).

Каждое приложение сопровождается заголовком.

## Содержание курсовой работы

Курсовая работа должна содержать следующие разделы

1. Краткое описание технологического процесса.

В этом разделе необходимо привести характеристику процесса абсорбции, описать его физико-химическую сущность, принцип действия и основные технические характеристики абсорберов.

1. Результаты активного эксперимента.

В этом разделе необходимо привести две таблицы, полученные в результате проведения экспериментов с программной моделью абсорбера (программа «АБСОРБЕР»):

Таблица 2.1 – Исходные данные для расчета модели.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| №опыта | Расход газа,м3 /час | Температура газа,0С | Концентрация абсорбента, кг/м3 |
|  |  |  |  |

Таблица 2.2 – Результаты параллельных опытов

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| №опыта | Измерения расхода газа для Т=15 0С и Х=35 кг/м3 | Измерения расхода газа для Т=20 0С и Х=35 кг/м3 | Измерения расхода газа для Т=15 0С и Х=40 кг/м3 |
|  |  |  |  |

* 1. Проверка точности проведенных экспериментов.

В этом подразделе должны быть приведены результаты проверки данных параллельных экспериментов по критерию грубой ошибки.

* 1. Определение дисперсии воспроизводимости.

Подраздел должен содержать расчеты и вывод по сравнению дисперсий воспроизводимости.

* 1. Построение математической модели абсорбера.

Результаты расчета моделей удобно свести в таблицу 3.1.

Таблица 3.1 - Результаты расчетов моделей

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Вид модели | Коэффициенты | S2ост | F |
| b1 | b2 | ... | bk |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |

* 1. Проверка модели на адекватность.

Проверка адекватности полученных результатов должна быть выполнена по критерию Фишера и по корреляционной функции остатков.

## Структура курсовой работы

Структура курсовой работы должна быть следующей:

* 1. Титульный лист (пример - приложение А)
	2. Задание к курсовой работе
	3. Реферат (пример - приложение Б)
	4. Содержание (пример - приложение В)
	5. Введение
	6. Основные разделы (см. п. 5.2)
	7. Заключение
	8. Список использованных источников (пример – приложение Е)
	9. Приложения

Пояснительная записка брошюруется в специальной папке или переплетается.

# ПРИЛОЖЕНИЕ А

**ПРИМЕР ТИТУЛЬНОГО ЛИСТА КУРСОВОЙ РАБОТЫ**

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

«Тюменский государственный нефтегазовый университет»

Институт Нефти и Газа

Кафедра «Автоматизации и управления»

**КУРСОВАЯ РАБОТА**

по дисциплине

«МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ»

на тему

**«Построение статической модели абсорбера»**

(Вариант № 1)

Выполнил: студент гр. АТП-05-1

Иванов П.Н.

Проверил: к.т.н., доцент каф АиУ

Ведерникова Ю.А.

Дата защиты :

Тюмень 2007

# ПРИЛОЖЕНИЕ Б

**ПРИМЕР СОСТАВЛЕНИЯ РЕФЕРАТА КУРСОВОЙ РАБОТЫ**

РЕФЕРАТ

Курсовая работа 19 с., 6 рис., 5 таблиц, 11 источников, 2 прил.

МОДЕЛЬ, АБСОРБЕР, РЕГРЕССИЯ, МЕТОД НАИМЕНЬШИХ КВАДРАТОВ, АДЕКВАТНОСТЬ, КРИТЕРИЙ ФИШЕРА.

Объектом исследования абсорбер – аппарат для осушки газа.

В работе получена статическая модель абсорбера в виде зависимости расхода осушенного газа от температуры газа и концентрации абсорбента

.

Все расчеты, приведенные в работе, производились с использованием программного продукта МАТLAB 7.0.1 компании MathWorks, Inc.

ПРИЛОЖЕНИЕ В

**Пример составления содержания**

СОДЕРЖАНИЕ

 стр.

|  |  |
| --- | --- |
| ВВЕДЕНИЕ……………………………………………………………………... | 4 |
| 1. Осушка газа абсорбционным методом ……..…………..…... | 5 |
| 2. ОБРАБОТКА Результатов активного эксперимента...........… | 8 |
|  2.1. Проверка точности проведенных экспериментов……......................... | 8 |
|  2.2. Определение дисперсии воспроизводимости…………………………. | 10 |
| 3. Построение математической модели абсорбера………… | 14 |
|  3.1. Определение порядка и расчет коэффициентов модели…….……….. | 14 |
| 3.2. Проверка модели на адекватность…………………………………….. | 17 |
|  3.2.1. По критерию Фишера.…………………………………………….. | 18 |
|  3.2.2. По корреляционной функции остатков………………………….. | 19 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ…………………………………………………………………... | 21 |
| СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ……………………………. | 22 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ А. Текст m-файла расчета статистических характеристик… | 23 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ Б. Текст m-файла МНК…………………………………...… | 24 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ В. Текст m-файла проверки по F-критерию……………….. | 25 |

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

**Пример обозначения рисунка**

Рисунок 4.1 - Зависимость расхода осушенного газа от концентрации абсорбента и расхода газа на входе абсорбера

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

**Пример составления списка использованных источников**

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Пащенко Ф.Ф. Введение в состоятельные методы моделирования систем: Учебное пособие: В 2-х частях Часть 1. Математические основы моделирования систем.- М.: Финансы и статистика, 2006.-328 стр.: ил.
2. Иглин С.П. Математические расчеты на базе MATLAB.-СПб.: БХВ-Петербург, 2005.-640 с.: ил.
3. Курбатова Е.А. MATLAB 7. Самоучитель.- М.: Издательский дом «Вильямс», 2006.- 256 с., ил.
4. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике (для научных работников и инженеров). Определения, теоремы, формулы: Пер. с англ.- М.: Лань, 2003.-823 с.
5. [http://www.exponenta.ru](http://www.exponenta.ru/) . Образовательный математический сайт.

# Приложение Е

**Квантили распределения Фишера**

|  |  |
| --- | --- |
| f2 | f1 |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 12 | 24 |  |
| 1 | 9,5 | 12,0 | 13,1 | 13,7 | 14,0 | 14,3 | 14,9 | 15,2 | 15,6 |
| 2 | 3,6 | 4,0 | 4,2 | 4,2 | 4,3 | 4,3 | 4,4 | 4,4 | 4,5 |
| 3 | 2,7 | 2,9 | 2,9 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 |
| 4 | 2,4 | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2,4 | 2,4 |
| 5 | 2,2 | 2,3 | 2,3 | 2,2 | 2,2 | 2,2 | 2,2 | 2,2 | 2,1 |
| 6 | 2,1 | 2,1 | 2,1 | 2,1 | 2,1 | 2,1 | 2,0 | 2,0 | 2,0 |
| 7 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 1,9 | 1,9 | 1,8 |
| 8 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 1,9 | 1,9 | 1,9 | 1,8 | 1,8 | 1,7 |
| 9 | 1,9 | 1,9 | 1,9 | 1,9 | 1,9 | 1,8 | 1,8 | 1,7 | 1,7 |
| 10 | 1,9 | 1,9 | 1,9 | 1,8 | 1,8 | 1,8 | 1,7 | 1,7 | 1,6 |
| 11 | 1,9 | 1,9 | 1,8 | 1,8 | 1,8 | 1,8 | 1,7 | 1,6 | 1,6 |
| 12 | 1,8 | 1,8 | 1,8 | 1,8 | 1,7 | 1,7 | 1,7 | 1,6 | 1,5 |
| 13 | 1,8 | 1,8 | 1,8 | 1,8 | 1,7 | 1,7 | 1,6 | 1,6 | 1,5 |
| 14 | 1,8 | 1,8 | 1,8 | 1,7 | 1,7 | 1,7 | 1,6 | 1,6 | 1,5 |
| 15 | 1,8 | 1,8 | 1,8 | 1,7 | 1,7 | 1,7 | 1,6 | 1,6 | 1,5 |
| 16 | 1,8 | 1,8 | 1,7 | 1,7 | 1,7 | 1,6 | 1,6 | 1,5 | 1,4 |
| 17 | 1,8 | 1,8 | 1,7 | 1,7 | 1,7 | 1,6 | 1,6 | 1,5 | 1,4 |
| 18 | 1,8 | 1,8 | 1,7 | 1,7 | 1,6 | 1,6 | 1,5 | 1,5 | 1,4 |
| 19 | 1,8 | 1,8 | 1,7 | 1,7 | 1,6 | 1,6 | 1,5 | 1,5 | 1,4 |
| 20 | 1,8 | 1,8 | 1,7 | 1,7 | 1,6 | 1,6 | 1,5 | 1,5 | 1,4 |
| 22 | 1,8 | 1,7 | 1,7 | 1,6 | 1,6 | 1,6 | 1,5 | 1,4 | 1,4 |
| 24 | 1,7 | 1,7 | 1,7 | 1,6 | 1,6 | 1,6 | 1,5 | 1,4 | 1,3 |
| 26 | 1,7 | 1,7 | 1,7 | 1,6 | 1,6 | 1,6 | 1,5 | 1,4 | 1,3 |
| 28 | 1,7 | 1,7 | 1,7 | 1,6 | 1,6 | 1,6 | 1,5 | 1,4 | 1,3 |
| 30 | 1,7 | 1,7 | 1,6 | 1,6 | 1,6 | 1,5 | 1,5 | 1,4 | 1,3 |
| 40 | 1,7 | 1,7 | 1,6 | 1,6 | 1,5 | 1,5 | 1,4 | 1,4 | 1,2 |
| 60 | 1,7 | 1,7 | 1,6 | 1,6 | 1,5 | 1,5 | 1,4 | 1,3 | 1,2 |
| 120 | 1,7 | 1,6 | 1,6 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,4 | 1,3 | 1,1 |
|

|  |
| --- |
|   |

 | 1,6 | 1,6 | 1,6 | 1,5 | 1,5 | 1,4 | 1,3 | 1,2 т | 1,0 |

**ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ Е**

|  |  |
| --- | --- |
| f2 | f1 |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 12 | 24 |  |
| 1 | 164,4 | 199,5 | 215,7 | 224,6 | 230,2 | 234,0 | 244,9 | 249,0 | 254,3 |
| 2 | 18,5 | 19,2 | 19,2 | 19,3 | 19,3 | 19,3 | 19,4 | 19,5 | 19,5 |
| 3 | 10,1 | 9,6 | 9,3 | 9,1 | 9,0 | 8,9 | 8,7 | 8,6 | 8,5 |
| 4 | 7,7 | 6,9 | 6,6 | 6,4 | 6,3 | 6,2 | 5,9 | 5,8 | 5,6 |
| 5 | 6,6 | 5,8 | 5,4 | 5,2 | 5,1 | 5,0 | 4,7 | 4,5 | 4,4 |
| 6 | 6,0 | 5,1 | 4,8 | 4,5 | 4,4 | 4,3 | 4,0 | 3,8 | 3,7 |
| 7 | 5,6 | 4,7 | 4,4 | 4,1 | 4,0 | 3,9 | 3,6 | 3,4 | 3,2 |
| 8 | 5,3 | 4,5 | 4,1 | 3,8 | 3,7 | 3,6 | 3,3 | 3,1 | 2,9 |
| 9 | 5,1 | 4,3 | 3,9 | 3,6 | 3,5 | 3,4 | 3,1 | 2,9 | 2,7 |
| 10 | 5,0 | 4,1 | 3,7 | 3,5 | 3,3 | 3,2 | 2,9 | 2,7 | 2,5 |
| 11 | 4,8 | 4,0 | 3,6 | 3,4 | 3,2 | 3,1 | 2,8 | 2,6 | 2,4 |
| 12 | 4,8 | 3,9 | 3,5 | 3,3 | 3,1 | 3,0 | 2,7 | 2,5 | 2,3 |
| 13 | 4,7 | 3,8 | 3,4 | 3,2 | 3,0 | 2,9 | 2,6 | 2,4 | 2,2 |
| 14 | 4,6 | 3,7 | 3,3 | 3,1 | 3,0 | 2,9 | 2,5 | 2,3 | 2,1 |
| 15 | 4,5 | 3,7 | 3,3 | 3,1 | 2,9 | 2,8 | 2,5 | 2,3 | 2,1 |
| 16 | 4,5 | 3,6 | 3,2 | 3,0 | 2,9 | 2,7 | 2,4 | 2,2 | 2,0 |
| 17 | 4,5 | 3,6 | 3,2 | 3,0 | 2,8 | 2,7 | 2,4 | 2,2 | 2,0 |
| 18 | 4,4 | 3,6 | 3,2 | 2,9 | 2,8 | 2,7 | 2,3 | 2,1 | 1,9 |
| 19 | 4,4 | 3,5 | 3,1 | 2,9 | 2,7 | 2,6 | 2,3 | 2,1 | 1,8 |
| 20 | 4,4 | 3,5 | 3,1 | 2,9 | 2,7 | 2,6 | 2,3 | 2,1 | 1,8 |
| 22 | 4,3 | 3,4 | 3,1 | 2,8 | 2,7 | 2,6 | 2,2 | 2,0 | 1,8 |
| 24 | 4,3 | 3,4 | 3,0 | 2,8 | 2,6 | 2,5 | 2,2 | 2,0 | 1,7 |
| 26 | 4,2 | 3,4 | 3,0 | 2,7 | 2,6 | 2,4 | 2,1 | 1,9 | 1,7 |
| 28 | 4,2 | 3,3 | 2,9 | 2,7 | 2,6 | 2,4 | 2,1 | 1,9 | 1,6 |
| 30 | 4,2 | 3,3 | 2,9 | 2,7 | 2,5 | 2,4 | 2,1 | 1,9 | 1,6 |
| 40 | 4,1 | 3,2 | 2,9 | 2,6 | 2,5 | 2,3 | 2,0 | 1,8 | 1,5 |
| 60 | 4,0 | 3,2 | 2,8 | 2,5 | 2,4 | 2,3 | 1,9 | 1,7 | 1,4 |
| 120 | 3,9 | 3,1 | 2,7 | 2,5 | 2,3 | 2,2 | 1,8 | 1,6 | 1,3 |
|

|  |
| --- |
|   |

 | 3,8 | 3,0 | 2,6 | 2,4 | 2,2 | 2,1 | 1,8 | 1,5 | 1,0 |

# Приложение Ж

**Квантили распределения кохрена**

|  |  |
| --- | --- |
| *n* | *f* |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 16 | 36 | 144 | ∞ |
| 2 | 9985 | 9750 | 9392 | 9057 | 8772 | 8534 | 8332 | 8159 | 8010 | 7880 | 7341 | 6602 | 5813 | 5000 |
| 3 | 9669 | 8709 | 7977 | 7457 | 7071 | 6771 | 6530 | 6333 | 6167 | 6025 | 5466 | 4748 | 4031 | 3333 |
| 4 | 9065 | 7679 | 6841 | 6287 | 5895 | 5598 | 5365 | 5175 | 5017 | 4884 | 4366 | 3720 | 3093 | 2500 |
| 5 | 8412 | 6838 | 5981 | 5441 | 5065 | 4783 | 4564 | 4387 | 4241 | 4118 | 3645 | 3066 | 2513 | 2000 |
| 6 | 7808 | 6161 | 5321 | 4803 | 4447 | 4184 | 3980 | 3817 | 3682 | 3568 | 3135 | 2612 | 2119 | 1667 |
| 7 | 7271 | 5612 | 4800 | 4307 | 3974 | 3726 | 3535 | 3384 | 3259 | 3154 | 2756 | 2278 | 1833 | 1429 |
| 8 | 6798 | 5157 | 4377 | 3910 | 3595 | 3362 | 3185 | 3043 | 2926 | 2829 | 2462 | 2022 | 1616 | 1250 |
| 9 | 6385 | 4775 | 4027 | 3584 | 3286 | 3067 | 2901 | 2768 | 2659 | 2568 | 2226 | 1820 | 1446 | 1111 |
| 10 | 6020 | 4450 | 3733 | 3311 | 3029 | 2823 | 2666 | 2541 | 2439 | 2353 | 2032 | 1655 | 1308 | 1000 |
| 12 | 5410 | 3924 | 3264 | 2880 | 2624 | 2439 | 2299 | 2187 | 2098 | 2020 | 1737 | 1403 | 1100 | 0833 |
| 15 | 4709 | 3346 | 2758 | 2419 | 2195 | 2034 | 1911 | 1815 | 1736 | 1671 | 1429 | 1144 | 0889 | 0667 |
| 20 | 3894 | 2705 | 2205 | 1921 | 1735 | 1602 | 1501 | 1422 | 1357 | 1303 | 1108 | 0879 | 0675 | 0500 |
| 24 | 3434 | 2354 | 1907 | 1656 | 1493 | 1374 | 1286 | 1216 | 1160 | 1113 | 0942 | 0743 | 0567 | 0417 |
| 30 | 2929 | 1980 | 1593 | 1377 | 1237 | 1137 | 1061 | 1002 | 0958 | 0921 | 0771 | 0604 | 0457 | 0333 |
| 40 | 2370 | 1576 | 1259 | 1082 | 0968 | 0887 | 0827 | 0780 | 0745 | 0713 | 0595 | 0462 | 0347 | 0250 |
| 60 | 1737 | 1131 | 0895 | 0765 | 0682 | 0623 | 0583 | 0552 | 0520 | 0497 | 0411 | 0316 | 0234 | 0167 |
| 120 | 0998 | 632 | 0495 | 0419 | 0371 | 0337 | 0312 | 0292 | 0279 | 0266 | 0218 | 0165 | 0120 | 0083 |
| ∞ | 0000 | 0000 | 0000 | 0000 | 0000 | 0000 | 0000 | 0000 | 0000 | 0000 | 0000 | 0000 | 0000 | 0000 |

# Приложение И

|  |  |
| --- | --- |
|  Число степеней свободы | Уровни значимости р |
| 0,2 | 0,1 | 0,05 | 0,02 | 0,01 | 0,005 | 0,001 |
| 1 | 3,08 | 6,31 | 12,71 | 31,82 | 63,66 | 127,32 | 636,62 |
| 2 | 1,89 | 2,92 | 4,3 | 6,97 | 9,93 | 14,09 | 31,6 |
| 3 | 1,64 | 2,35 | 3,18 | 4,54 | 5,84 | 7,45 | 12,94 |
| 4 | 1,53 | 2,13 | 2,78 | 3,75 | 4,6 | 5,6 | 8,61 |
| 5 | 1,48 | 2,02 | 2,57 | 3,37 | 4,03т | 4,77 | 6,86 |
| 6 | 1,44 | 1,94 | 2,45 | 3,14 | 3,71 | 4,32 | 5,96 |
| 7 | 1,42 | 1,9 | 2,37 | 3 | 3,5 | 4,03 | 5,41 |
| 8 | 1,4 | 1,86 | 2,31 | 2,9 | 3,36 | 3,83 | 5,04 |
| 9 | 1,38 | 1,83 | 2,26 | 2,82 | 3,25 | 3,69 | 4,78 |
| 10 | 1,37 | 1,81 | 2,23 | 2,76 | 3,17 | 3,58 | 4,59 |
| 11 | 1,36 | 1,8 | 2,2 | 2,72 | 3,11 | 3,5 | 4,44 |
| 12 | 1,36 | 1,78 | 2,18 | 2,68 | 3,06 | 3,43 | 4,32 |
| 13 | 1,35 | 1,77 | 2,16 | 2,65 | 3,01 | 3,37 | 4,22 |
| 14 | 1,34 | 1,76 | 2,15 | 2,62 | 2,98 | 3,33 | 4,14 |
| 15 | 1,34 | 1,75 | 2,13 | 2,6 | 2,95 | 3,29 | 4,07 |
| 16 | 1,34 | 1,75 | 2,12 | 2,58 | 2,92 | 3,25 | 4,02 |
| 17 | 1,33 | 1,74 | 2,11 | 2,57 | 2,9 | 3,22 | 3,97 |
| 18 | 1,33 | 1,73 | 2,1 | 2,55 | 2,88 | 3,2 | 3,92 |
| 19 | 1,33 | 1,73 | 2,09 | 2,54 | 2,86 | 3,17 | 3,88 |
| 20 | 1,33 | 1,73 | 2,09 | 2,53 | 2,85 | 3,15 | 3,85 |
| 21 | 1,32 | 1,72 | 2,08 | 2,52 | 2,83 | 3,14 | 3,82 |
| 22 | 1,32 | 1,72 | 2,07 | 2,51 | 2,82 | 3,12 | 3,79 |
| 23 | 1,32 | 1,71 | 2,07 | 2,5 | 2,81 | 3,1 | 3,77 |
| 24 | 1,32 | 1,71 | 2,06 | 2,49 | 2,8 | 3,09 | 3,75 |
| 25 | 1,32 | 1,71 | 2,06 | 2,48 | 2,79 | 3,08 | 3,73 |
| 26 | 1,32 | 1,71 | 2,06 | 2,48 | 2,78 | 3,07 | 3,71 |
| 27 | 1,31 | 1,7 | 2,05 | 2,47 | 2,77 | 3,06 | 3,69 |
| 28 | 1,31 | 1,7 | 2,05 | 2,47 | 2,76 | 3,05 | 3,67 |
| 29 | 1,31 | 1,7 | 2,04 | 2,46 | 2,76 | 3,04 | 3,66 |
| 30 | 1,31 | 1,7 | 2,04 | 2,46 | 2,75 | 3,03 | 3,65 |
| 40 | 1,3 | 1,68 | 2,02 | 2,42 | 2,7 | 2,97 | 3,55 |
| 60 | 1,3 | 1,67 | 2 | 2,39 | 2,66 | 2,91 | 3,46 |
| 120 | 1,29 | 1,66 | 1,98 | 2,36 | 2,62 | 2,86 | 3,37 |
| ∞  | 1,28 | 1,64 | 1,96 | 2,33 | 2,58 | 2,81 | 3,29 |

# Приложение К

**Квантили -распределения**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 | 50 | 100 |
| 1 | 18,00 | 18,00 | 18,00 | 18,00 | 18,00 | 18,00 | 18,00 | 18,00 | 18,00 | 18,00 | 18,00 | 18,00 | 18,00 | 18,00 | 18,00 | 18,00 |
| 2 | 6,09 | 6,09 | 6,09 | 6,09 | 6,09 | 6,09 | 6,09 | 6,09 | 6,09 | 6,09 | 6,09 | 6,09 | 6,09 | 6,09 | 6,09 | 6,09 |
| 3 | 4,50 | 4,50 | 4,50 | 4,50 | 4,50 | 4,50 | 4,50 | 4,50 | 4,50 | 4,50 | 4,50 | 4,50 | 4,50 | 4,50 | 4,50 | 4,50 |
| 4 | 3,98 | 4,01 | 4,02 | 4,02 | 4,02 | 4,02 | 4,02 | 4,02 | 4,02 | 4,02 | 4,02 | 4,02 | 4,02 | 4,02 | 4,02 | 4,02 |
| 5 | 3,64 | 3,74 | 3,79 | 3,83 | 3,83 | 3,83 | 3,83 | 3,83 | 3,83 | 3,83 | 3,83 | 3,83 | 3,83 | 3,83 | 3,83 | 3,83 |
| 6 | 3,46 | 3,58 | 3,64 | 3,68 | 3,68 | 3,68 | 3,68 | 3,68 | 3,68 | 3,65 | 3,68 | 3,68 | 3,68 | 3,68 | 3,68 | 3,68 |
| 7 | 3,35 | 3,47 | 3,54 | 3,58 | 3,60 | 3,61 | 3,61 | 3,61 | 3,61 | 3,61 | 3,61 | 3,61 | 3,61 | 3,61 | 3,61 | 3,61 |
| 8 | 3,26 | 3,39 | 3,47 | 3,52 | 3,55 | 3,56 | 3,56 | 3,56 | 3,56 | 3,56 | 3,56 | 3,56 | 3,56 | 3,56 | 3,56 | 3,56 |
| 9 | 3,20 | 3,34 | 3,41 | 3,47 | 3,50 | 3,52 | 3,52 | 3,52 | 3,52 | 3,52 | 3,52 | 3,52 | 3,52 | 3,52 | 3,52 | 3,52 |
| 10 | 3,15 | 3,30 | 3,37 | 3,43 | 3,46 | 3,47 | 3,47 | 3,47 | 3,47 | 3,47 | 3,47 | 3,47 | 3,47 | 3,48 | 3,48 | 3,48 |
| 11 | 3,11 | 3,27 | 3,35 | 3,39 | 3,43 | 3,44 | 3,45 | 3,46 | 3,46 | 3,46 | 3,46 | 3,46 | 3,47 | 3,48 | 3,48 | 3,48 |
| 12 | 3,08 | 3,23 | 3,33 | 3,36 | 3,40 | 3,42 | 3,44 | 3,44 | 3,46 | 3,46 | 3,46 | 3,46 | 3,47 | 3,48 | 3,48 | 3,48 |
| 13 | 3,06 | 3,21 | 3,30 | 3,35 | 3,38 | 3,41 | 3,42 | 3,44 | 3,45 | 3,45 | 3,46 | 3,46 | 3,47 | 3,47 | 3,47 | 3,47 |
| 14 | 3,03 | 3,18 | 3,27 | 3,33 | 3,37 | 3,39 | 3,41 | 3,42 | 3,44 | 3,45 | 3,46 | 3,46 | 3,47 | 3,47 | 3,47 | 3,47 |
| 15 | 3,01 | 3,16 | 3,25 | 3,31 | 3,36 | 3,38 | 3,40 | 3,42 | 3,43 | 3,44 | 3,45 | 3,46 | 3,47 | 3,47 | 3,47 | 3,47 |
| 16 | 3,00 | 3,15 | 3,23 | 3,30 | 3,34 | 3,37 | 3,39 | 3,41 | 3,43 | 3,44 | 3,45 | 3,46 | 3,47 | 3,47 | 3,47 | 3,47 |
| 17 | 2,98 | 3,13 | 3,22 | 3,28 | 3,33 | 3,36 | 3,38 | 3,40 | 3,42 | 3,44 | 3,45 | 3,46 | 3,47 | 3,47 | 3,47 | 3,47 |
| 18 | 2,97 | 3,12 | 3,21 | 3,27 | 3,32 | 3,35 | 3,37 | 3,39 | 3,41 | 3,43 | 3,45 | 3,46 | 3,47 | 3,47 | 3,47 | 3,47 |
| 19 | 2,96 | 3,11 | 3,19 | 3,26 | 3,31 | 3,35 | 3,37 | 3,39 | 3,41 | 3,43 | 3,44 | 3,46 | 3,47 | 3,47 | 3,47 | 3,47 |
| 20 | 2,95 | 3,10 | 3,18 | 3,25 | 3,30 | 3,34 | 3,36 | 3,38 | 3,40 | 3,43 | 3,44 | 3,46 | 3,47 | 3,47 | 3,47 | 3,47 |
| 22 | 2,93 | 3,08 | 3,17 | 3,24 | 3,29 | 3,32 | 3,35 | 3,37 | 3,39 | 3,42 | 3,44 | 3,45 | 3,46 | 3,47 | 3,47 | 3,47 |
| 24 | 2,92 | 3,07 | 3,15 | 3,22 | 3,28 | 3,31 | 3,34 | 3,37 | 3,38 | 3,41 | 3,44 | 3,45 | 3,46 | 3,47 | 3,47 | 3,47 |
| 26 | 2,91 | 3,06 | 3,14 | 3,21 | 3,27 | 3,30 | 3,34 | 3,36 | 3,38 | 3,41 | 3,43 | 3,45 | 3,46 | 3,47 | 3,47 | 3,47 |
| 28 | 2,90 | 3,04 | 3,13 | 3,20 | 3,26 | 3,30 | 3,33 | 3,35 | 3,37 | 3,40 | 3,43 | 3,45 | 3,46 | 3,47 | 3,47 | 3,47 |
| 30 | 2,89 | 3,04 | 3,12 | 3,20 | 3,25 | 3,29 | 3,32 | 3,35 | 3,37 | 3,40 | 3,43 | 3,44 | 3,46 | 3,47 | 3,47 | 3,47 |
| 40 | 2,86 | 3,01 | 3,10 | 3,17 | 3,22 | 3,27 | 3,30 | 3,33 | 3,35 | 3,39 | 3,42 | 3,44 | 3,46 | 3,47 | 3,47 | 3,47 |
| 60 | 2,83 | 2,98 | 3,08 | 3,14 | 3,20 | 3,24 | 3,28 | 3,31 | 3,33 | 3,37 | 3,40 | 3,43 | 3,45 | 3,47 | 3,48 | 3,48 |
| 100 | 2,80 | 2,95 | 3,05 | 3,12 | 3,18 | 3,22 | 3,26 | 3,29 | 3,32 | 3,36 | 3,40 | 3,42 | 3,45 | 3,47 | 3,53 | 3,53 |
| ∞ | 2,77 | 2,92 | 3,02 | 3,09 | 3,15 | 3,19 | 3,23 | 3,26 | 3,29 | 3,34 | 3,38 | 3,41 | 3,44 | 3,47 | 3,61 | 3,67 |

# список рекомендуемой лИТЕРАТУРы

1. Пащенко Ф.Ф. Введение в состоятельные методы моделирования систем: Учебное пособие: В 2-х частях Часть 1. Математические основы моделирования систем.- М.: Финансы и статистика, 2006.-328 стр.: ил.
2. Иглин С.П. Математические расчеты на базе MATLAB.-СПб.: БХВ-Петербург, 2005.-640 с.: ил.
3. Берков Н.А. Применение пакета MathCAD: практикум. М.: Изд-во МГИУ, 2006. – 132 с.
4. Ашихмин В.Н., Гитман М.Б., Келлер И.Э., Наймарк О.Б., Столбов В.Ю., Трусов П.В., Фрик П.Г. Введение в математическое моделирование: Учебное пособие / Под редакцией П.В. Трусова. – М.: Университетская книга, Логос,2007. – 440стр.
5. Закгейм А.Ю. Введение в моделирование химико-технологических процессов .- М. Химия, 1982г.- 287с.- ил.
6. Кафаров В.В. Математическое моделирование основных процессов химических производств .- М. Высшая школа, 1991г.- 400с.- ил.
7. <http://www.scribd.com/doc/126328/-Excel>. Справочник функций Excel.
8. <http://ict.edu.ru/ft/002123/2123.doc>.. Cправочник по STATGRAFICS в НТML-формате.