

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
«Полоцкий государственный университет»



Л. С. Турищев

ОСНОВЫ ДИНАМИКИ И УСТОЙЧИВОСТИ СООРУЖЕНИЙ

Методическое пособие
к расчетно-проектировочным работам
для студентов специальностей
1-70 02 01 «Промышленное и гражданское строительство»
1-70 02 02 «Экспертиза и управление недвижимостью»

Текстовое электронное издание

Новополоцк
Полоцкий государственный университет
2020

Об издании – 1, 2

1 – дополнительный титульный экран – сведения об издании

УДК 624.04(075.8)

Одобрено и рекомендовано к изданию методической комиссией инженерно-строительного факультета (протокол № 4 от 28 мая 2019)

Кафедра строительных конструкций

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

канд. техн. наук, доц., доц. кафедры строительных конструкций

А. И. КОЛТУНОВ

доц., доц. кафедры строительных конструкций

А. Г. ЩЕРБО

Пособие содержит общие требования и методические рекомендации по выполнению и оформлению расчетно-проектировочных работ, содержание каждой расчетно-проектировочной работы, краткие справочные сведения о вычислениях в математическом пакете MathCAD.

Пособие предназначено для студентов специальностей 1-70 02 01 «Промышленное и гражданское строительство», 1-70 02 02 «Экспертиза и управление недвижимостью» очной формы обучения. Может быть полезно начинающим преподавателям строительной механики и технической механики.

© Турищев Л. С., 2020

© Полоцкий государственный университет, 2020

2 – дополнительный титульный экран – производственно-технические сведения

Для создания текстового электронного издания «Основы динамики и устойчивости сооружений» использованы текстовый процессор Microsoft Word и программа Adobe Acrobat XI Pro для создания и просмотра электронных публикаций в формате PDF.

Леонид Степанович ТУРИЩЕВ

**ОСНОВЫ ДИНАМИКИ
И УСТОЙЧИВОСТИ СООРУЖЕНИЙ**

Методическое пособие
к расчетно-проектировочным работам
для студентов специальностей
1-70 02 01 «Промышленное и гражданское строительство»
1-70 02 02 «Экспертиза и управление недвижимостью»

Редактор *А. А. Прадидова*

Подписано к использованию 05.10.2020.
Объем издания: 1,44 Мб. Заказ 536.

Издатель и полиграфическое исполнение:
учреждение образования «Полоцкий государственный университет».

Свидетельство о государственной регистрации
издателя, изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/305 от 22.04.2014.

ЛП № 02330/278 от 08.05.2014.

211440, ул. Блохина, 29,
г. Новополоцк,
Тел. 8 (0214) 59-95-41, 59-95-44
<http://www.psu.by>

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1. ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ И ОФОРМЛЕНИЮ РПР	7
2. УСЛОВИЯ ВЫПОЛНЕНИЯ РПР № 5 «ДИНАМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ПЛОСКОЙ СТЕРЖНЕВОЙ СИСТЕМЫ НА ДЕЙСТВИЕ ВИБРАЦИОННОЙ НАГРУЗКИ»	9
2.1. Содержание работы	9
2.2. Методические рекомендации по выполнению и оформлению РПР	11
3. УСЛОВИЯ ВЫПОЛНЕНИЯ РПР № 6 «РАСЧЕТ ПЛОСКОЙ РАМЫ НА УСТОЙЧИВОСТЬ»	13
3.1. Содержание работы	13
3.2. Методические рекомендации по выполнению и оформлению РПР	14
ЛИТЕРАТУРА	16
Приложение 1	17
Приложение 2	18
Приложение 3	43

ВВЕДЕНИЕ

Важное место в образовании современного инженера-строителя занимает его проектно-конструкторская подготовка. Фундаментальную роль в такой подготовке играют умения и навыки выполнять расчеты несущих конструкций на прочность, жесткость и устойчивость, позволяющие проектировать надежные строительные сооружения в сочетании с их оптимальной материалоемкостью. Системообразующей дисциплиной, формирующей такие умения и навыки, является строительная механика.

Существенную роль при изучении строительной механики играют расчетно-проектировочные работы (РПР). Выполняемые в процессе изучения курса РПР способствуют формированию основ профессиональных компетенций, связанных с расчетами реальных несущих конструкций строительных сооружений на прочность, жесткость и устойчивость, в том числе с использованием компьютерных технологий на основе современных компьютерных математических пакетов и проектно-вычислительных комплексов (ПВК).

При выполнении ряда РПР рекомендуется использовать компьютерный математический пакет MathCAD и ПВК SCAD, что объясняется следующим. Пакет MathCAD не требует знания языков программирования и составления специальных программ для выполнения расчетов на компьютере. В то же время его использование сохраняет понимание сути применяемых классических методов и базирующихся на них численных методов расчета несущих конструкций, реализуемых в ПВК. Одним из наиболее популярных комплексов, применяемых при реальном проектировании строительных сооружений, является ПВК SCAD.

В соответствии с учебной программой студенты очной формы обучения специальностей 1-70 02 01 «Промышленное и гражданское строительство» и 1-70 02 02 «Экспертиза и управление недвижимостью» изучают курс «Строительная механика» в пятом, шестом и седьмом семестрах и должны выполнить при его изучении следующие РПР, связанные с определением параметров напряженно-деформированного состояния (НДС) стержневых конструкций:

1. 5 семестр

- РПР № 1. Расчет многопролетной шарнирной балки;
- РПР № 2. Расчет плоской статически определимой рамы.

2. 6 семестр

– РПР № 3. Расчет плоской статически неопределимой рамы методом сил;

– РПР № 4. Расчет многопролетной неразрезной балки.

3. 7 семестр

– РПР № 5. Расчет плоской стержневой системы на действие вибрационной нагрузки;

– РПР № 6. Расчет плоской рамы на устойчивость.

Данное методическое пособие содержит материалы для эффективной организации самостоятельной работы при выполнении РПР № 5, РПР № 6 и является третьим в ряду таких пособий. Оно включает в себя:

– общие требования и методические рекомендации по выполнению и оформлению РПР;

– содержание отдельной РПР;

– образец оформления титульного листа (приложение 1);

– основы работы в компьютерном математическом пакете MathCAD (приложение 2);

– справочные сведения о результатах расчета сжато-изогнутых стержней на единичные перемещения (приложение 3).

При написании методического пособия использовались материалы, изложенные в соответствующих образовательных стандартах, учебных программах, учебниках, учебных пособиях, Интернет-источниках по строительной механике и логически связанным с ней соответствующим дисциплинам естественнонаучного и общепрофессионального циклов учебных планов специальностей 1-70 02 01 «Промышленное и гражданское строительство», 1-70 02 02 «Экспертиза и управление недвижимостью». Список использованных источников приводится в конце пособия.

1. ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ И ОФОРМЛЕНИЮ РПР

При выполнении РПР необходимо руководствоваться следующими правилами:

- приступая к работе, следует внимательно ознакомиться с условиями ее выполнения и методическими рекомендациями к ней, указанными в соответствующих разделах настоящего пособия;
- все расчеты должны производиться в строгом соответствии с заданными схемами стержневых конструкций и числовыми значениями их параметров, содержанием и методическими рекомендациями к выполняемой работе.

Содержание выполненной работы при оформлении **должно включать** все параграфы, указанные в соответствующих условиях выполнения РПР.

Выполненная работа оформляется на сброшюрованных листах бумаги формата А4 по типу пояснительной записки к курсовому проекту. Текст, формулы и вычисления аккуратно пишутся ручкой синего (черного) цвета с одной стороны листа или набираются на компьютере в текстовом редакторе Microsoft Word.

Графический материал (схемы, эпюры и др.) вычерчивается ручкой черного цвета, мягким карандашом или на компьютере с использованием графических редакторов. Вычерчивание графического материала следует осуществлять в определенном масштабе с указанием характерных размеров и величин, необходимых для последующего расчета. Расчетные схемы стержневых систем изображаются вместе со схемой внешней нагрузки и схемой составляющих опорных реакций.

Схемы и графики, расположенные в одном месте работы, именуются рисунком. Все рисунки последовательно нумеруются арабскими цифрами. Схемы и графики в пределах одного рисунка могут подразделяться с помощью малых кириллических букв. Общее количество рисунков в каждой работе, а также указания по их содержанию и компоновке даются в методических рекомендациях к соответствующей РПР.

Титульный лист работы оформляется на листе того же формата, что и листы работы. Образец оформления титульного листа приведен в приложении 1. За титульным листом в работе должен располагаться лист задания, выданный и подписанный преподавателем.

Выполненная и оформленная РПР в установленные графиком учебного процесса сроки сдается на проверку преподавателю. Если работа выполнена и оформлена студентом с отклонением от указанных выше требований, то она не проверяется и возвращается студенту. В этом случае студент обязан выполнить и оформить работу заново в полном соответствии с этими требованиями.

Если при проверке работы преподавателем выявлены недоработки и ошибки, то студент обязан устранить их. Нельзя стирать, заклеивать или замазывать штрихом указанные преподавателем недоработки или ошибки. Необходимо выполнить требуемые исправления на обратной стороне соответствующего листа РПР и в установленный преподавателем срок представить всю работу целиком на повторную проверку. Отдельно от работы исправления не рассматриваются.

2. УСЛОВИЯ ВЫПОЛНЕНИЯ РПР № 5 «ДИНАМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ПЛОСКОЙ СТЕРЖНЕВОЙ СИСТЕМЫ НА ДЕЙСТВИЕ ВИБРАЦИОННОЙ НАГРУЗКИ»

2.1. Содержание работы

§1. Кинематический анализ

- Образование кинематической цепи (рисунок 1).
- Подсчет числа степеней свободы.
- Анализ геометрической структуры.
- Вывод о кинематических и статических свойствах расчетной схемы безмассовой стержневой системы.

§2. Определение внутренних усилий от действия статической нагрузки

- Схема безмассовой стержневой системы с приложенной статической нагрузкой (рисунок 2, а).¹
- Эпюры внутренних усилий (рисунок 2, б).

§3. Расчет стержневой системы по предельным состояниям

- Подбор поперечного сечения из условия выполнения первой группы предельных состояний.
- Проверка выполнения условий второй группы предельных состояний.
- Корректировка поперечного сечения в случае невыполнения условий второй группы предельных состояний.

§4. Определение числа степеней свободы деформируемой стержневой системы

- Изображение отклоненного положения и независимых перемещений присоединенных к ней масс без учета допущений (рисунок 3, а).
- Определение полного числа степеней свободы.
- Изображение отклоненного положения и независимых перемещений присоединенных к ней масс с учетом допущений (рисунок 3, б).
- Определение неполного числа степеней свободы.

¹ Роль статической нагрузки играет вес присоединенных масс.

§5. Определение собственных частот и собственных форм свободных колебаний стержневой системы

- Составление в обратной форме дифференциальных уравнений движения, описывающих процесс свободных колебаний стержневой системы.
- Составление амплитудных уравнений свободных колебаний стержневой системы.
- Построение единичных эпюр внутренних усилий (рисунок 4).
- Определение коэффициентов амплитудных уравнений свободных колебаний.
- Запись амплитудных уравнений с коэффициентами в безразмерной форме.
- Определение собственных значений и собственных векторов матрицы коэффициентов амплитудных уравнений.²
- Определение собственных частот свободных колебаний согласно вычисленным собственным значениям.
- Построение спектра собственных частот (рисунок 5, а).
- Построение собственных форм свободных колебаний согласно вычисленным собственным векторам (рисунок 5, б).
- Проверка ортогональности собственных форм.

§6. Определение динамических внутренних усилий при действии вибрационной нагрузки

- Составление в обратной форме дифференциальных уравнений движения, описывающих установившийся процесс вынужденных колебаний стержневой системы.
- Составление уравнений относительно неизвестных величин амплитуд сил инерции колеблющихся масс.
- Построение грузовой эпюры M_H (рисунок 6, а).
- Определение свободных членов, входящих в уравнения амплитуд сил инерции.
- Определение амплитудных значений сил инерции.³
- Построение эпюр амплитудных значений динамических внутренних усилий (рисунок 6, б).

² Вычисления производятся в среде MathCAD с приложением листинга вычислений.

³ Решение системы уравнений производится в среде MathCAD с приложением листинга вычислений.

§7. Проверка выполнения условий предельных состояний при действии вибрационной нагрузки

- Проверка выполнения условия первой группы предельных состояний.
- Проверка выполнения условия второй группы предельных состояний.
- Заключение о возможности эксплуатации стержневой системы при действии вибрационной нагрузки.

2.2. Методические рекомендации по выполнению и оформлению РПР

При выполнении параграфов настоящей работы следует руководствоваться следующими рекомендациями.

При выполнении §1

Для проведения кинематического анализа расчетной схемы заданной стержневой системы необходимо использовать формулы и приемы, описанные в модуле М-1 «Введение в строительную механику» [5, с. 25–36].

Необходимо понимать, что в основе установления кинематических и статических признаков плоских стержневых конструкций лежит подсчет числа степеней свободы W и анализ геометрической структуры конструкций. Эти две процедуры и составляют суть кинематического анализа расчетных схем стержневых конструкций.

Пример кинематического анализа стержневой конструкции приведен в [5, с. 178–180].

При выполнении §2

Для определения внутренних усилий в заданной стержневой системе необходимо использовать методы и формулы, описанные в модуле М-2 «Методы определения внутренних усилий от неподвижной нагрузки в статически определимых плоских стержневых системах» [5, с. 46–50].

При определении внутренних усилий в статически определимых стержневых системах обычно используется вторая разновидность статического метода.

Определение внутренних усилий производится по участкам. На каждом участке последовательно применяется метод сечений. Для получения аналитических выражений, описывающих законы изменения внутренних усилий в пределах участка, внешние силы

мысленно отбрасываемой части приводятся к центру тяжести поперечного сечения оставшейся части. Рекомендуется отбрасывать ту часть, к которой приложено меньше внешних сил. Участком считается любая часть рамы, на протяжении которой не изменяются аналитические выражения внутренних усилий.

Примеры определения внутренних усилий в статически определимых стержневых системах приведены в [5, с. 191–196].

При выполнении §3

Для подбора и проверки поперечного сечения исходя из соблюдения требований первой и второй групп предельных состояний необходимо использовать формулы, изложенные в курсе «Металлические конструкции», например, [4, с. 52–55].

При выполнении §4

Для определения числа степеней свободы стержневой системы с учетом возникающих деформаций необходимо использовать формулы и приемы, описанные в модуле М-14 «Введение в динамику сооружений» [7, с. 20–22].

При выполнении §5

Для определения собственных частот и собственных форм свободных колебаний стержневой системы необходимо использовать методы и формулы, описанные в модуле М-16 «Колебания систем с конечным числом степеней свободы» [7, с. 41–57].

Пример определения собственных частот и собственных форм свободных колебаний стержневой системы приведен в [7, с. 114–119].

При выполнении §6

Для определения динамических внутренних усилий стержневой системы при действии вибрационной нагрузки необходимо использовать методы и формулы, описанные в модуле М-16 «Колебания систем с конечным числом степеней свободы» [7, с. 58–64].

Пример определения динамических внутренних усилий стержневой системы при действии вибрационной нагрузки приведен в [7, с. 119–123].

При оформлении параграфов настоящей работы следует руководствоваться следующими рекомендациями. Графический материал работы оформляется на шести рисунках.

1. На первом рисунке изображается расчетная схема безмассовой стержневой системы в виде кинематической цепи. Рисунок включается в текстовую часть §1.

2. На втором рисунке изображается расчетная схема стержневой системы с постоянной нагрузкой, найденными опорными реакциями и построенными эпюрами M , Q и N . Рисунок выполняется на отдельном листе формата А4 и располагается за первой текстовой страницей §2.

3. На третьем рисунке изображаются отклоненные положения стержневой системы и характеризующие их независимые перемещения масс системы без учета и с учетом допущений. Рисунок включается в текстовую часть §4.

4. На четвертом рисунке изображаются единичные состояния стержневой системы и единичные эпюры внутренних усилий этих состояний. Рисунок выполняется на отдельном листе формата А4 и располагается за первой текстовой страницей §5.

5. На пятом рисунке изображается спектр собственных частот и собственные формы свободных колебаний стержневой системы. Рисунок выполняется на отдельном листе формата А4 и располагается вслед за рисунком 4.

6. На шестом рисунке изображается стержневая система, статически нагруженная амплитудой динамической нагрузки, соответствующие ей эпюры внутренних усилий и эпюры амплитудных значений внутренних усилий. Рисунок выполняется на отдельном листе формата А4 и располагается за первой текстовой страницей §6.

3. УСЛОВИЯ ВЫПОЛНЕНИЯ РПР № 6 «РАСЧЕТ ПЛОСКОЙ РАМЫ НА УСТОЙЧИВОСТЬ»

3.1. Содержание работы

§1. Кинематический анализ

- Изображение расчетной схемы рамы в виде кинематической цепи (рисунок 1, а).
- Подсчет числа степеней свободы.
- Анализ геометрической структуры.
- Вывод о кинематических и статических свойствах расчетной схемы рамы.

§2. Определение степени кинематической неопределимости рамы

- Определение числа неизвестных угловых перемещений узлов рамы.

- Определение числа неизвестных линейных перемещений узлов рамы (с учетом допущений).
- Определение степени кинематической неопределимости рамы и изображение схемы рамы с неизвестными перемещениями (рисунок 1, б).

§3. Определение критической нагрузки

- Изображение схемы рамы с системой узловых сил в критическом состоянии (рисунок 2, а).
- Определение относительных значений безразмерных параметров нагружения для сжатых стержней рамы.
- Изображение основной системы метода перемещений (рисунок 2, б).
- Составление канонических уравнений метода перемещений.
- Рассмотрение единичных состояний метода перемещений и построение единичных эпюр (рисунок 2, в).
- Определение коэффициентов канонических уравнений метода перемещений.
- Получение уравнения, выражающего условие достижения рамой критического состояния, и определение наименьшего корня.⁴
- Вычисление параметра низшей критической нагрузки рамы.

§ 4. Определение расчетных длин сжатых стержней рамы

- Определение для сжатых стержней значений безразмерных параметров нагружения в критическом состоянии.
- Определение расчетных длин сжатых стержней рамы.

3.2. Методические рекомендации по выполнению и оформлению РПР

При выполнении параграфов настоящей работы следует руководствоваться следующими рекомендациями.

При выполнении §1

Для проведения кинематического анализа расчетной схемы заданной рамы необходимо использовать формулы и приемы, описанные в модуле М-1 «Введение в строительную механику» [5, с. 25–36].

⁴ Решение уравнения производится в среде MathCAD с приложением листинга вычислений.

Необходимо понимать, что в основе установления кинематических и статических признаков плоских стержневых конструкций лежит подсчет числа степеней свободы W и анализ геометрической структуры конструкций. Эти две процедуры и составляют суть кинематического анализа расчетных схем стержневых конструкций.

Пример кинематического анализа стержневой конструкции приведен в [5, с. 178–180].

При выполнении §2

При определении степени кинематической неопределимости необходимо использовать формулы и приемы, описанные в модуле М-11 «Метод перемещений» [6, с. 94–96].

При выполнении §3

Для определения критической нагрузки заданной рамы необходимо использовать формулы и уравнения, описанные в модуле М-20 «Устойчивость плоских рамных систем» [7, с. 105–111].

Пример определения критической нагрузки рамной конструкции приведен в [7, с. 122–126].

При выполнении §4

Для определения расчетных длин сжатых стержней рамы необходимо использовать формулы, описанные в модуле М-20 «Устойчивость плоских рамных систем» [7, с. 111–112].

Пример определения расчетных длин сжатых стержней рамы приведен в [7, с. 126–127].

При оформлении параграфов настоящей работы следует руководствоваться следующими рекомендациями. Графический материал работы оформляется на двух рисунках.

1. На первом рисунке изображается схема рамы в виде кинематической цепи и схема узловых перемещений заданной рамы. Рисунок включается в текстовую часть §1.

2. На втором рисунке изображаются схемы рамы в критическом состоянии и ее основной системы метода перемещений, единичные состояния рамы и соответствующие им единичные эпюры внутренних усилий. Рисунок выполняется на отдельном листе формата А4 и располагается за первой текстовой страницей §3.

ЛИТЕРАТУРА

1. Борисевич, А. А. Строительная механика : учеб. пособие для вузов / А. А. Борисевич, Е. М. Сидорович, В. И. Игнатюк. – Минск : БНТУ, 2009.
2. Дарков, А. В. Строительная механика : учеб. для вузов / А. В. Дарков, Н. Н. Шапошников. – СПб. : Лань, 2010.
3. Леонтьев, Н. Н. Основы строительной механики стержневых систем : учеб. для вузов / Н. Н. Леонтьев, Д. Н. Соболев, А. А. Амосов. – М. : АСВ, 1996.
4. Машковцев, Г. Д. Металлические конструкции : учеб.-метод. комплекс / Г. Д. Машковцев. – Новополоцк : ПГУ, 2007.
5. Турищев, Л. С. Строительная механика : учеб.-метод. комплекс : в 3 ч. / Л. С. Турищев. – Новополоцк : ПГУ, 2008. – Ч. 1 : Статически определимые системы.
6. Турищев, Л. С. Строительная механика : учеб.-метод. комплекс : в 3 ч. / Л. С. Турищев. – Новополоцк : ПГУ, 2009. – Ч. 2 : Статически неопределимые системы.
7. Турищев, Л. С. Строительная механика : учеб.-метод. комплекс : в 3 ч. / Л. С. Турищев. – Новополоцк : ПГУ, 2010. – Ч. 3 : Основы динамики и устойчивости сооружений.

ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ

1. Учебные курсы для студентов по сопротивлению материалов и строительной механике [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://mysopromat.ru/uchebnye_kursu/.
2. Учебная литература по строительной механике [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.twirpx.com>.
3. Сайт кафедры строительной механики СПбГПУ с учебными материалами по строительной механике [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://smitu.cef.spbstu.ru/index.htm>.
4. Сайт кафедры строительной механики БелГУТ с учебными материалами по строительной механике [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.mechanika.org.ru/index>.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Учреждение образования
«ПОЛОЦКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра строительных
конструкций

РАСЧЕТНО-ПРОЕКТИРОВОЧНАЯ РАБОТА № 2
по строительной механике

«РАСЧЕТ ПЛОСКОЙ СТАТИЧЕСКИ ОПРЕДЕЛИМОЙ РАМЫ»

Выполнил
студент группы
ФИО студента

Проверил
ФИО преподавателя

Новополоцк, 20...

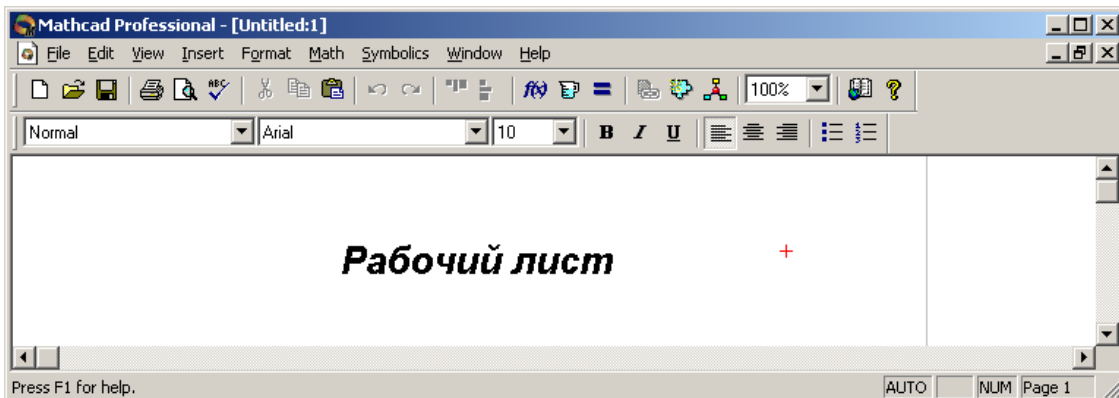
Краткие справочные сведения о вычислениях в математическом пакете MathCAD⁵

1. Основные правила работы с пакетом MathCAD⁶

Запуск для работы системы MathCAD ничем не отличается от запуска других Windows-приложений и может осуществляться двумя способами. Первый способ основан на использовании команды **MathCAD 2000** в подменю **MathSoft Apps** меню **Программы**, которая открывается кнопкой **Пуск**, расположенной на рабочем столе Windows в левом нижнем углу. Во втором способе может использоваться специальный ярлык системы, созданный на рабочем столе.



Открытое окно MathCAD имеет следующий вид:



Оно содержит в верхней части строку заголовка с названием открытого документа, которым по умолчанию является *Untitled:1*, и три стандартных для Windows-приложений строки:

– главное меню **File Edit View Insert Format Math Symbolics Window Help** ;

– стандартную панель инструментов



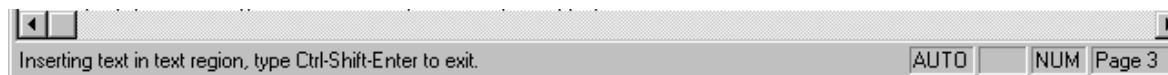
⁵ Составлены с использованием: Турищев, Л. С. Численные методы решения задач строительства : учеб.-метод. комплекс / Л. С. Турищев. – Новополюк : ПГУ, 2004.

⁶ Справедливы для версий MathCAD 2000 Professional и выше.

– панель инструментов форматирования



Внизу окна расположена строка состояния.



Пространство между верхними и нижними строками называется *рабочим листом* и используется для создания MathCAD-документа. Таким документом является естественное математическое описание алгоритма решения различных инженерно-технических задач. Создаваемый документ состоит из отдельных блоков, представляющих собой занятые определенной информацией области *рабочего листа*. Такие блоки могут быть трех типов: *вычислительные, графические и текстовые*.


Вычислительные блоки служат для проведения вычислений, получения промежуточных и конечных результатов. Они состоят из исполняемых математических выражений (формул, уравнений, неравенств и др.), записанных с помощью обычной математической символики. Вычисления в указанных блоках осуществляются в строго определенном порядке: слева направо и сверху вниз.

Графические блоки служат для графического вывода результатов вычислений. Такие блоки также являются исполняемыми и поэтому должны располагаться после соответствующих вычислительных блоков.

Текстовые блоки служат для ввода в документ поясняющего текста и повышают его наглядность. Эти блоки являются неисполняемыми и поэтому могут располагаться в любых местах документа, свободных от вычислительных и графических блоков.

Основой функционирования MathCAD-документа является взаимный порядок расположения блоков в соответствии с алгоритмом решения задачи. Каждый последующий исполняемый блок может функционировать, используя информацию только из предшествующих исполняемых блоков, т.е. расположенных выше и левее. Блоки не могут налагаться друг на друга.

Присвоение собственного имени созданному MathCAD-документу и его сохранение в определенной папке осуществляется обычным образом с помощью команды **Save As** меню **File** главного меню системы. Закрытие созданного документа ничем не отличает-

ся от закрытия документов в других Windows-приложениях и может осуществляться тремя способами. Первый способ основан на использовании команды **Exit** в меню **File** главного меню системы. Во втором способе используется стандартная кнопка закрытия любого Windows-приложения , расположенная в правом углу строки заголовка MathCAD-документа. Третий способ основан на использовании комбинации клавиш **[Alt + F4]**.

2. Создание вычислительных блоков

При создании вычислительных блоков используются следующие математические объекты: *операторы, входные данные, функции и математические выражения*. Под *операторами* в MathCAD понимают различные математические операции (арифметические, логические, математического анализа и матричной алгебры), для обозначения которых используются специальные символы. К *входным данным* относятся числовые константы, числовые переменные и массивы – векторы и матрицы, используемые при составлении выражений. *Функциями* являются различные математические зависимости, связывающие по определенным правилам одни переменные величины с другими. *Математические выражения* описывают преобразования, которые производятся над данными с помощью операторов и функций.

Для распознавания входных данных и функций им присваиваются имена – идентификаторы. Именами указанных объектов могут быть любые сочетания строчных и прописных букв (латинских и греческих), цифр и некоторых специальных символов, например, штрих, подчеркивание, процент. Каждое имя должно быть уникальным и не повторять ранее заданных имен. Имена объектов должны начинаться с латинских букв, не должны включать в себя пробелов и могут содержать нижние текстовые индексы. Для создания таких индексов следует в конце имени нажать клавишу **[.]** и ввести требуемые символы.


Создание вычислительных блоков возможно на любом свободном месте рабочего листа MathCAD-документа. Перед началом их создания курсор на месте ввода математических объектов имеет вид **+**. После начала их ввода он приобретает вид синего уголка, охватывающего вводимый объект.

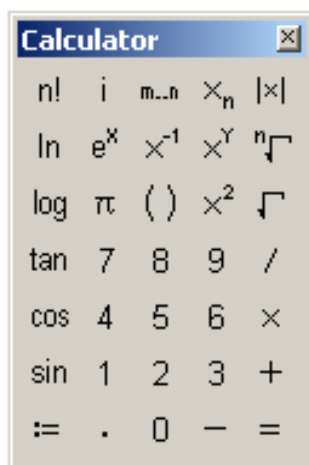
Для ввода математических объектов могут использоваться различные способы. Общий способ основывается на использовании соответствующих команд главного меню системы и открывающихся при этом панелей инструментов или диалоговых окон. Другой способ основан на использовании специальных сочетаний клавиш. Кроме того, ряд математических объектов может быть введен непосредственно с клавиатуры.

Операторы. Для ввода операторов служит панель математических инструментов **Math**, которая открывается командой **Math** в подменю **Toolbars** меню **View** главного меню системы.



Панель математических инструментов состоит из ряда кнопок, позволяющих открывать рабочие панели с соответствующими операторами.


Кнопка математической панели  позволяет открыть рабочую панель **Calculator** с арифметическими операторами.

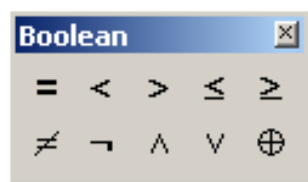


Рабочая панель имеет вид стандартного калькулятора. Каждому оператору соответствует символ, имеющий естественный вид, который позволяет ввести шаблон соответствующего оператора. Так, например, шаблоны основных арифметических операторов – сложение, вычитание, умножение и деление, имеют вид


$$\blacksquare + \blacksquare \quad \blacksquare - \blacksquare \quad \blacksquare \cdot \blacksquare \quad \frac{\blacksquare}{\blacksquare}$$

Шаблон каждого оператора включает два черных маркера – места, предназначенные для ввода данных, и символ соответствующей арифметической операции. Кроме того, эта панель позволяет вводить цифры от 0 до 9, некоторые элементарные функции, а также символы $:=$ и $=$, обозначающие, соответственно, оператор ввода или локального присваивания и оператор вывода численного результата.

Кнопка математической панели  позволяет открыть рабочую панель **Boolean** с логическими операторами.




Кнопки этой панели позволяют вводить операторы сравнения выражений $= < > \leq \geq \neq$ и операторы четырех логических действий $\neg \wedge \vee \oplus$ – отрицания, умножения, сложения и исключения.

Кнопка математической панели  позволяет открыть рабочую панель **Calculus** с операторами математического анализа.



С помощью кнопок этой панели можно ввести шаблоны выполнения различных операций математического анализа. Соответствующая каждой операции математического анализа кнопка обозначена естественным математическим символом данной операции. Наиболее важными операторами математического анализа, применяемыми в строительных задачах, являются операторы дифференцирования и интегрирования.

Кнопка математической панели  позволяет открыть рабочую панель **Matrix** с операторами матричной алгебры.



С помощью кнопок этой панели можно ввести шаблоны самой матрицы $\begin{bmatrix} \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot \end{bmatrix}$ и отдельных ее элементов x_n , а также шаблоны выполнения традиционных матричных операций: обращение матрицы x^{-1} , вычисление определителя матрицы $|x|$, выделение столбца матрицы x^c и транспонирование матрицы x^T . Для выполнения с матрицами операций сложения, вычитания и умножения используются соответствующие арифметические операторы, в шаблоны которых вводятся матрицы.

Таковы основные операторы вычислительных блоков MathCAD, наиболее часто используемые при решении строительных задач.

Данные. Для ввода данных в вычислительный блок используется оператор локального присваивания, шаблон которого имеет вид

$$\blacksquare := \blacksquare .$$

В маркер левой части вводится имя объекта, а информация, вводимая в маркер правой части, зависит от типа данных. Ввод оператора может быть произведен с помощью рабочей панели **Calculator**, а также сочетанием клавиш [**Shift + ;**].

Первым типом данных являются *числовые константы* – именованные числовые значения, неизменяемые при выполнении документа. Для их задания в правую часть оператора присваивания с помощью арабских цифр, десятичной точки и, при необходимости, знака – (минус) вводится числовое значение константы, например

$$a := 2 \quad b := -25.367 .$$

Вторым типом данных являются *простые числовые переменные*. Ими являются именованные числовые значения, которые могут изменяться по ходу выполнения документа. Задание простых числовых переменных ничем не отличается от задания числовых констант

$$x := 5 \quad y := 10 .$$

Наряду с простыми переменными, задающими отдельные числовые значения, в MathCAD используются *дискретные* или *ранжированные переменные*. Такие переменные определяют ряд числовых значений, изменяющихся с определенным шагом в конечном интервале. Для задания дискретной переменной необходимо в правую часть оператора присваивания ввести начальное и конечное значения переменной, разделив их нажатием клавиши [**;**]


$$x := 0 .. 5 \quad y := 5 .. 0 .$$

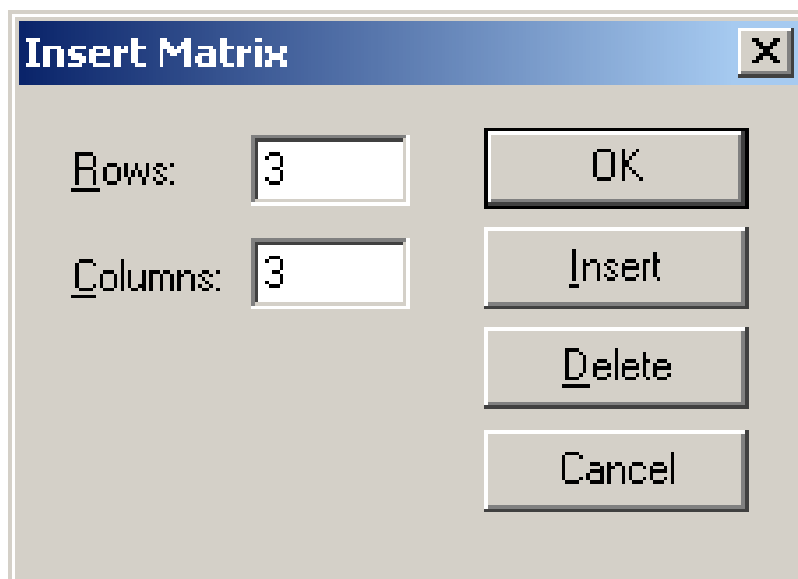
Первая дискретная переменная x изменяется с шагом 1 в интервале от 0 до 5, т.е. принимает значения 0, 1, 2, 3, 4, 5. Вторая дискретная переменная y изменяется с шагом -1 в интервале от 5 до 0 и, следовательно, принимает значения 5, 4, 3, 2, 1, 0.

Для задания дискретной переменной с шагом изменения, отличным от 1, необходимо в правую часть оператора присваивания ввести начальное значение переменной. Затем следует нажать клавишу [,] и ввести следующее значение, отличающееся от начального на величину задаваемого шага. После этого нужно нажать клавишу [;] и ввести конечное значение переменной

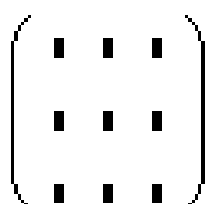
$$x := 0, 2.. 8 \quad y := 8, 6.. 0.$$

В этом случае дискретная переменная x изменяется с шагом 2 в интервале от 0 до 8, т.е. принимает значения 0, 2, 4, 6, 8, а дискретная переменная y изменяется с шагом -2 в интервале от 8 до 0 и, следовательно, принимает значения 8, 6, 4, 2, 0.

Третьим типом данных являются *массивы* – векторы и матрицы. Для их ввода используется кнопка  рабочей панели **Matrix**, которая открывает диалоговое окно.

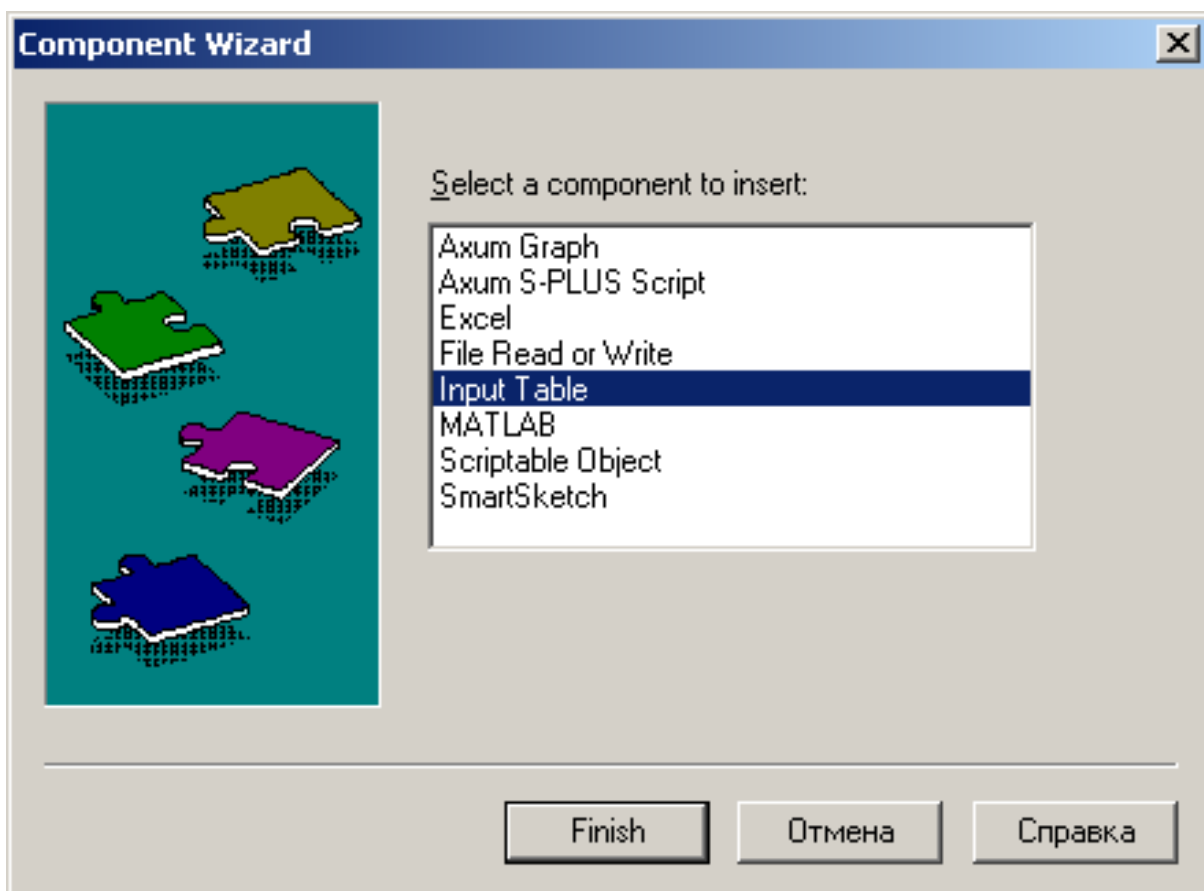


Это окно позволяет установить число строк и столбцов массива и ввести его шаблон в правую часть оператора присваивания.

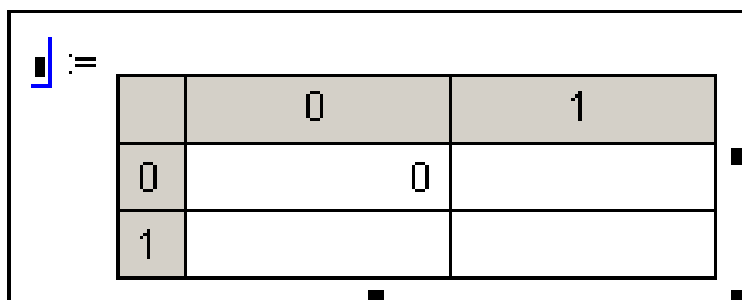


Шаблон массива состоит из маркеров для ввода его элементов. Вызов шаблона можно также произвести сочетанием клавиш [Ctrl + M]. С помощью указанного шаблона можно ввести массив, содержащий не более 100 элементов.

Ввод массивов при большом числе элементов осуществляется в формате электронных таблиц Excel. Для этого необходимо с помощью команды **Component** меню **Insert** главного меню системы открыть диалоговое окно **Component Wizard** выбрать строку **Input Table** и активизировать клавишу **Finish**.



Это позволит вставить в документ шаблон следующего вида:



	0	1
0	0	
1		

В маркер левой части вводится имя массива, а ячейки таблицы в правой части предназначены для ввода значений его элементов. Никаких ограничений на количество вводимых элементов массива в таблицу практически не существует.


При расчете строительных конструкций матричными методами часто приходится объединять массивы или выделять из них подмассивы. Для объединения массивов в MathCAD существует две функции: функция **augment**(A,B,...) и **stack**(A,B,...). Аргументами этих функций являются объединяемые массивы. Функция **augment**(A,B,...) позволяет объединять массивы с одинаковым числом строк слева направо. Функция **stack**(A,B,...) позволяет объединять массивы с одинаковым числом столбцов сверху вниз. Для выделения из массива некоторого подмассива существует функция **submatrix**(A,i,i+m,j,j+n). Аргументами функции являются имя массива, а также граничные значения номеров строк и столбцов выделяемого подмассива.

Распознавание элементов массива и доступ к ним осуществляется через имя массива, дополненное нижними числовыми индексами. Если массив является вектором, то его имя дополняется одним числовым индексом:

$$a_2.$$

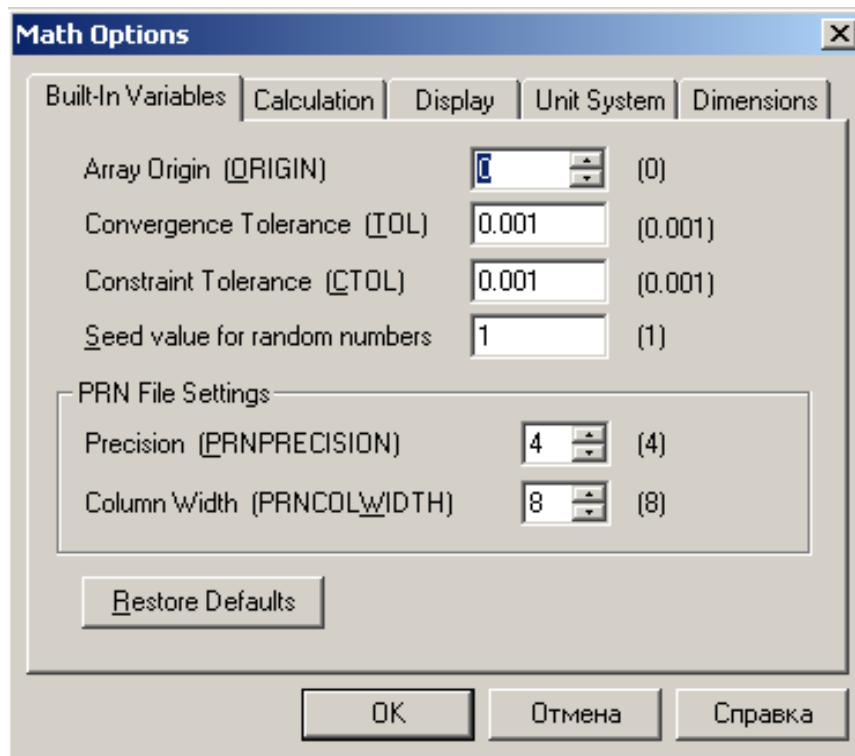
Индекс определяет номер элемента вектора. Если массив является матрицей, то его имя дополняется двумя числовыми индексами, разделенными запятой:

$$a_{2,3}.$$

Первый индекс указывает номер строки, а второй – номер столбца, где располагается соответствующий элемент матрицы. Для введения заполнителя числового индекса используется кнопка  рабочей панели **Matrix** или клавиша [[].

Нижняя граница индексации массивов определяется значением системной переменной ORIGIN, которая при запуске MathCAD принимает значение 0. При решении строительных задач нумерацию элементов массивов обычно начинают с 1. Для переопределения значения системной переменной ORIGIN можно использовать два способа.

Первый способ основан на использовании команды **Options** в меню **Math** главного меню системы, которая откроет диалоговое окно **Math Options**, позволяющее с помощью поля со счетчиком **Array Origin** изменить значение ORIGIN с 0 на 1.



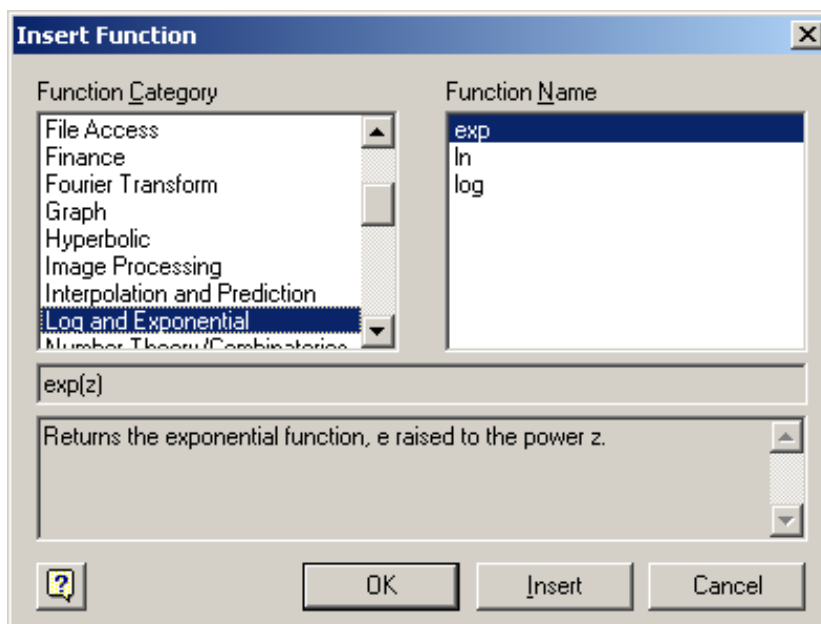
Второй способ основан на переопределении системной переменной ORIGIN с помощью оператора локального присваивания непосредственно в MathCAD-документе

ORIGIN := 1.

Функции. В системе MathCAD используются два вида функций. Первым видом являются *встроенные функции*. Вторым видом являются *функции, создаваемые пользователем системы*.

В число встроенных функций входят элементарные математические функции, используемые в инженерных расчетах: гиперболические, тригонометрические, логарифмические, экспоненциальные функции, а также другие категории функций. Встроенные функции системы MathCAD подразделяются на 32 тематические категории, включающие более 300 (200) функций.

Для включения встроенных функций в вычислительный блок используется команда **Function** меню **Insert** главного меню системы, которая открывает диалоговое окно, позволяющее выбрать требуемую категорию, имя функции и вводить ее шаблон.



Шаблоны функций содержат их имена и маркеры в скобках для ввода аргументов. Например, шаблоны элементарных математических функций имеют вид

$$\sin(\blacksquare) \quad \cos(\blacksquare) \quad \ln(\blacksquare) \quad \log(\blacksquare).$$

Вызов диалогового окна можно также произвести сочетанием клавиш [Ctrl + E].

С помощью функций пользователя в вычислительный блок вводятся различные математические зависимости между переменными величинами, описывающими поведение рассчитываемых объектов или процессов. Такие функции могут иметь один или несколько аргументов. Для задания функций пользователя используется оператор локального присваивания. В маркер левой части оператора вводится имя функции с указанием в скобках перечня аргументов, разделенных запятыми. В маркер правой части вводится формула задаваемой функции, в которую могут входить аргументы, различные встроенные функции, а также ранее заданные параметры и функции пользователя. Примерами функций пользователя являются следующие записи:

$$Q(x) := (V_A \cdot x - q \cdot x) \cdot \sin(\alpha) - H \cdot \cos(\alpha);$$

$$G(x, \xi) := \frac{1}{F \cdot L} \cdot x \cdot (L - \xi);$$

$$M(x) := M_b(x) - H \cdot (f - y(x)).$$

Первая и третья функции описывают изменение поперечных сил и изгибающих моментов в трехшарнирной арке, а вторая является функцией влияния растянутой нити.

Значение функции в отдельной точке можно вычислить двумя способами. Во-первых, для вычисления значения функции можно в имени функции задать числовое значение аргумента и затем после имени ввести оператор вывода численного результата.

$$M(x) := 10 \cdot x - 4 \cdot x^2 \quad M(2) = 4$$

Во-вторых, можно вычислить значение функции, определив значение аргумента с помощью оператора локального присваивания.

$$M(x) := 10 \cdot x - 4 \cdot x^2$$

$$x := 2 \quad M(x) = 4$$

Вычисление ряда значений функций в некотором интервале изменения аргумента можно осуществить, используя для задания аргумента дискретную переменную.

$$x := 0..4 \quad M(x) := 10 \cdot x - 4 \cdot x^2 \quad M(x) =$$

0
6
4
-6
-24

Математические выражения. При численном решении в MathCAD инженерных задач наиболее часто используются два вида выражений: *арифметические* и *логические*. Каждое выражение определяет правила и порядок выполнения математических операций над входящими в него величинами для получения значения этого выражения.

Арифметическое выражение может состоять из входных данных, функций, арифметических операторов, операторов математического анализа и матричной алгебры, а также круглых скобок. Частными случаями арифметических выражений являются числовые константы, простые переменные и отдельные функции.

Ввод арифметических выражений в вычислительный блок осуществляется согласно общепринятым правилам записи таких

выражений и с использованием описанных выше рабочих панелей и диалоговых окон. Примером такого выражения может служить следующая запись:

$$\frac{\sqrt{2 \cdot a^4 + 49} - \sqrt{\log(a)}}{1 - \sqrt[3]{e^a}}$$

Задание значения параметра a с помощью оператора локального присваивания и введение в конце арифметического выражения оператора вывода численного результата = позволяет получить численное значение этого выражения.

$$a := 5$$

$$\frac{\sqrt{2 \cdot a^4 + 49} - \sqrt{\log(a)}}{1 - \sqrt[3]{e^a}} = -8.198$$

Логические выражения устанавливаются с помощью логических операторов некоторые зависимости между арифметическими выражениями, которые должны соблюдаться или не соблюдаться при выполнении MathCAD-документа. Результатом выполнения логических выражений является одно из двух чисел: 0, если рассматриваемое логическое выражение ложное, или 1, если оно истинное.

$$b := 3 \quad c := 8$$

$$b + c > 10 = \blacksquare \quad b - c > 0 = \blacksquare \quad b \cdot c < 1 = \blacksquare \quad \frac{b}{c} \leq 1 = \blacksquare$$

Численные результаты, получаемые в MathCAD при вычислении значений функций и выражений, могут представляться в десятичном формате и экспоненциальной форме. Десятичный формат позволяет получать численный результат в виде десятичной дроби с фиксированным числом значащих цифр после запятой.

$$\frac{32.452}{48} = 0.676$$

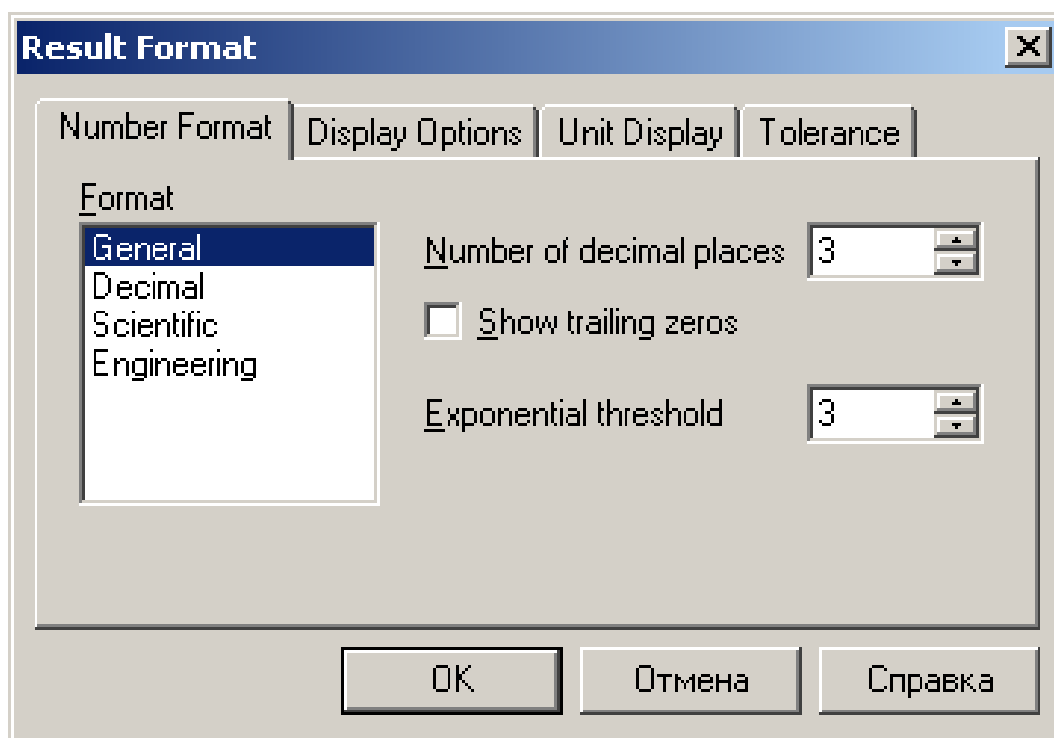
Экспоненциальная форма позволяет получать численный результат в виде произведения мантииссы числа и его порядка. Возможны две разновидности представления результата в таком виде –

научный и инженерный форматы. Научный формат позволяет получить численный результат с нормализованной мантиссой, а в случае инженерного формата порядок численного результата может принимать значения 0 или кратные 3.

$$\frac{32.452}{48} = 6.761 \times 10^{-1} \quad \text{- научный формат}$$

$$\frac{32.452}{48} = 676.083 \times 10^{-3} \quad \text{- инженерный формат}$$

Для установления формата вывода результата используется команда **Result** меню **Format** главного меню системы, которая открывает диалоговое окно **Result Format**.

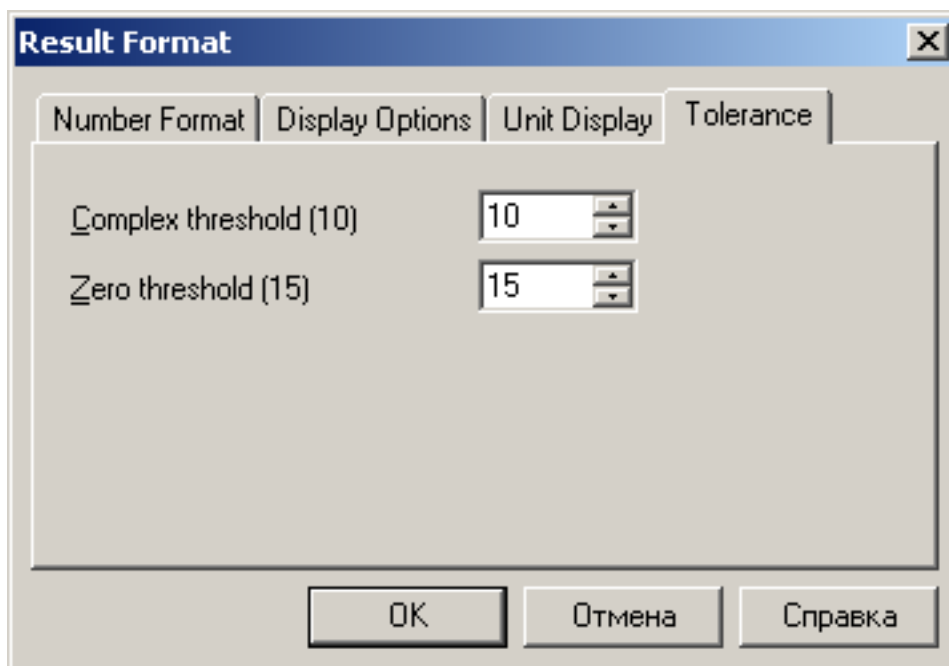


Поле **Format** на вкладке **Number Format** позволяет выбрать формат представления результата: общий, десятичный, научный или инженерный. При запуске системы автоматически устанавливается общий формат. Общий формат позволяет получать численный результат до определенного значения в десятичном формате, а при его превышении – в научном формате.

Поле со счетчиком **Number of decimal places** позволяет установить требуемое число значащих цифр после запятой как для результата в десятичном формате, так и для мантиссы результата в экспоненциальной форме. Установка флажка в окошко опции

Show trailing zeros позволяет включать нули в число значащих цифр. Для установления в общем формате порога экспоненциальной формы представления результата необходимо в поле со счетчиком **Exponential threshold** задать целое число n от 0 до 15, определяющее порядок результата.

Вкладка **Tolerance** диалогового окна **Result Format** позволяет в поле со счетчиком **Zero threshold** установить целое число n от 0 до 307 и тем самым задать величину машинного нуля в виде 10^{-n} . Наибольшее число, которое может использоваться в MathCAD, равняется 10^{307} , и оно устанавливает величину машинной бесконечности.



Точность вычислений в MathCAD устанавливается заданием предельной абсолютной погрешности с помощью системной переменной TOL. Максимальная точность производимых в MathCAD численных расчетов не превышает 10^{-15} . Устанавливаемая точность при запуске системы составляет 10^{-3} . Изменение значения системной переменной TOL производится в поле со счетчиком **Convergence Tolerance** диалогового окна **Math Options**. Порядок открытия окна был рассмотрен выше при рассмотрении системной переменной ORIGIN.

Вычисления в MathCAD могут производиться в двух режимах: автоматическом и ручном. В автоматическом режиме вычисления выполняются сразу после ввода в вычислительные блоки соответствующих математических объектов, содержащих операторы вывода численного результата, и они производятся от начала документа

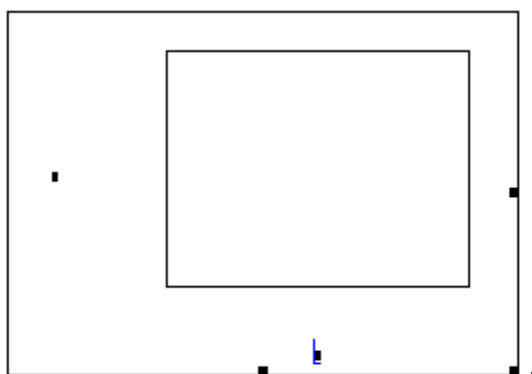
и до его конца. В ручном режиме вычисления сразу после ввода математических объектов не производятся, и вместо результатов вычислений выводятся их шаблоны.

При запуске системы устанавливается автоматический режим вычислений. Для изменения режима вычислений необходимо отключить флажок команды **Automatic Calculation** в меню **Math** главного меню системы. Осуществление вычислений в ручном режиме производится с помощью команды **Calculate**, вводимой нажатием клавиши **F9**.

3. Создание графических блоков

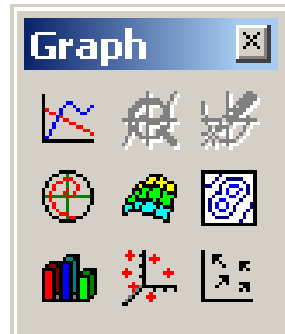
Графические блоки позволяют представлять численные результаты решения различных задач в виде графиков. Они должны располагаться после вычислительных блоков, которые содержат требуемые данные для построения таких графиков. Система MathCAD позволяет строить различные типы двумерных и трехмерных графиков. При решении строительных задач наиболее часто встречаются двумерные графики в декартовой системе координат. Примером таких графиков могут служить эпюры внутренних усилий плоских стержневых систем.


Для построения двумерного графика в декартовой системе координат используется шаблон такого графика, который имеет вид



Наружная рамка определяет границы графического блока, и ее размеры могут изменяться с помощью трех маркеров, расположенных на этой рамке, также как изменяются размеры графических объектов в текстовом редакторе Microsoft Word. Внутренняя рамка определяет область построения графика. Пространство между рамками предназначено для отображения различной информации, связанной с создаваемым графиком. Для ввода шаблона графика могут быть использованы три приема.

Первый прием основан на использовании рабочей панели **Graph**, которая открывается командой **Graph** в подменю **Toolbars** меню **View** главного меню системы.

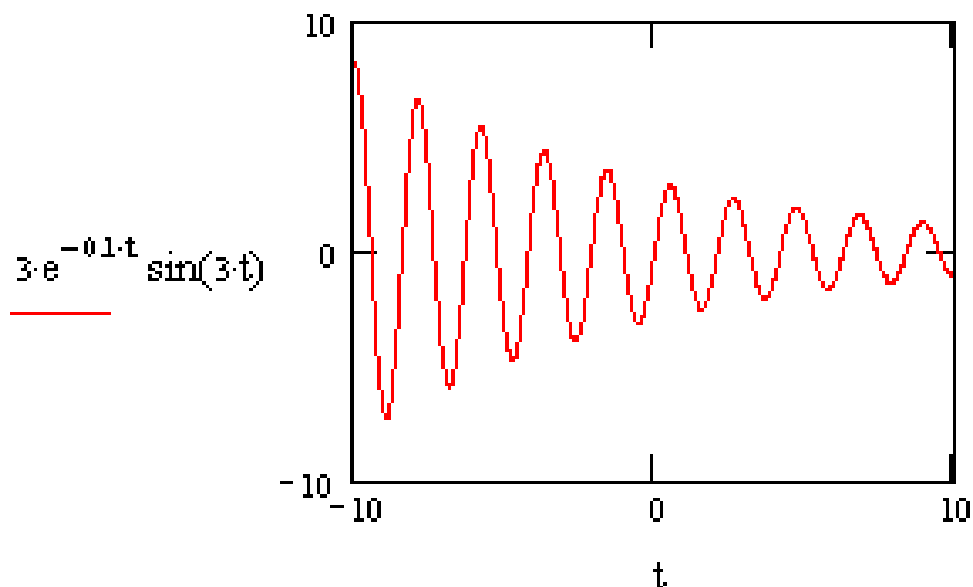


Эта панель состоит из ряда кнопок, позволяющих открывать шаблоны различных типов графиков. Кнопка панели  позволяет открыть шаблон двумерного графика в декартовой системе координат.

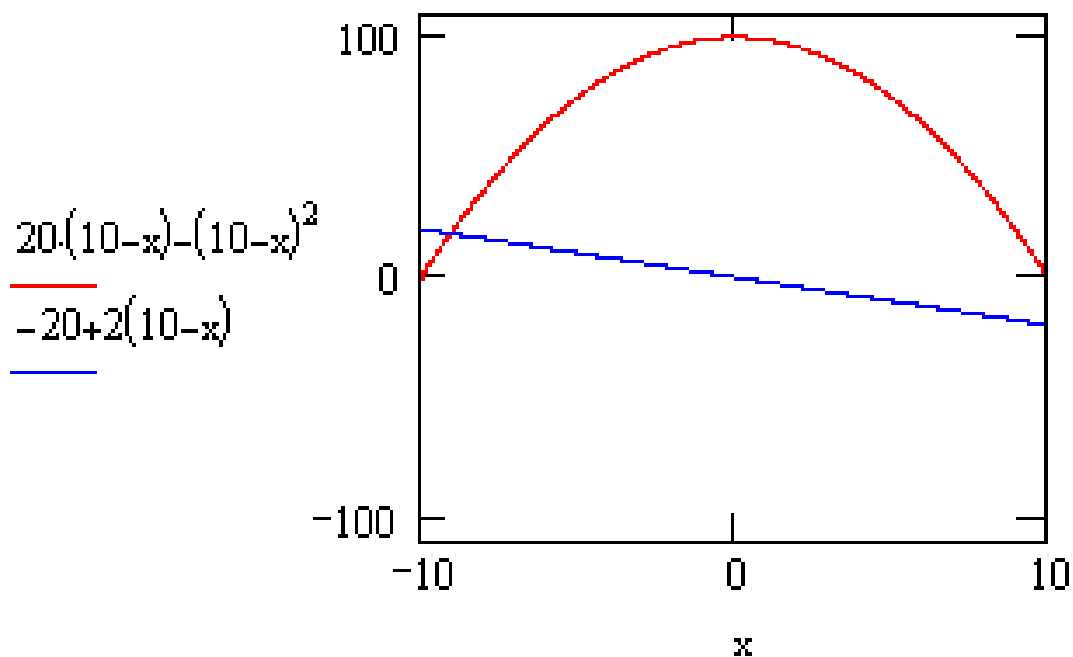
Второй прием основан на применении команды **X-Y Plot** подменю **Graph** меню **Insert** главного меню системы.

И, наконец, ввод шаблона графика можно произвести сочетанием клавиш [**Shift + @**].

Для построения графика некоторой функции во введенном шаблоне следует в маркер, расположенный под внутренней рамкой, ввести аргумент функции, а в маркер, расположенный слева от этой рамки, ввести формулу задаваемой функции по правилам ввода выражений в вычислительные блоки. Например, если ввести аргумент t и формулу $3e^{-0.1t} \sin(3t)$, то получим график, который описывает затухающие свободные колебания материальной точки.



Для одновременного построения во введенном шаблоне графиков нескольких функций необходимо в маркер, расположенный слева от внутренней рамки, ввести формулы соответствующих функций, разделив их запятыми.



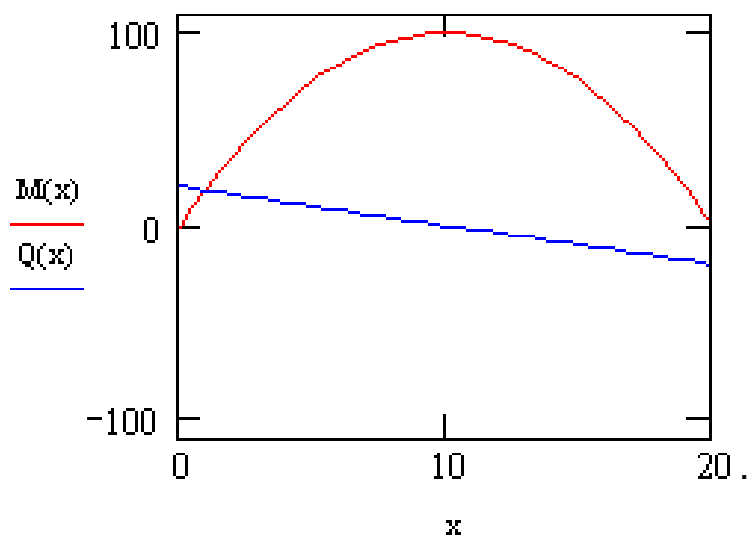
Построенные графики описывают очертания эпюр изгибающих моментов и поперечных сил однопролетной балки при действии равномерно распределенной нагрузки. Всего в одном шаблоне можно одновременно построить шестнадцать графиков.

Однако описанный способ построения графиков, несмотря на его простоту, неудобен при вводе громоздких формул. Кроме того, он обладает и рядом более существенных недостатков. Во-первых, область определения, задаваемая самой системой, для всех функций неизменна: значения аргумента изменяются в замкнутом интервале от -10 до 10 . Во-вторых, способ не позволяет строить графики функций, которые задаются несколькими формулами, действующими на различных участках изменения аргумента, что характерно, например, для построения эпюр внутренних усилий в стержневых конструкциях. И, в-третьих, способ не позволяет также строить графики функций, заданных или полученных в табличной форме, например, как это бывает при матричной форме расчета конструкций.

Способ построения графиков, свободный от указанных недостатков, основан на использовании дискретных переменных для описания области определения функции и задании самих функций. Такая информация должна содержаться в вычислительных блоках, предшествующих шаблонам строящихся графиков этих функций. При применении этого способа в маркер, расположенный слева от внутренней рамки шаблона, вводятся не сами формулы функций, а их имена. Например, рассмотренный ранее пример построения графиков, описывающих очертания эпюр изгибающих моментов и поперечных сил однопролетной балки, примет вид

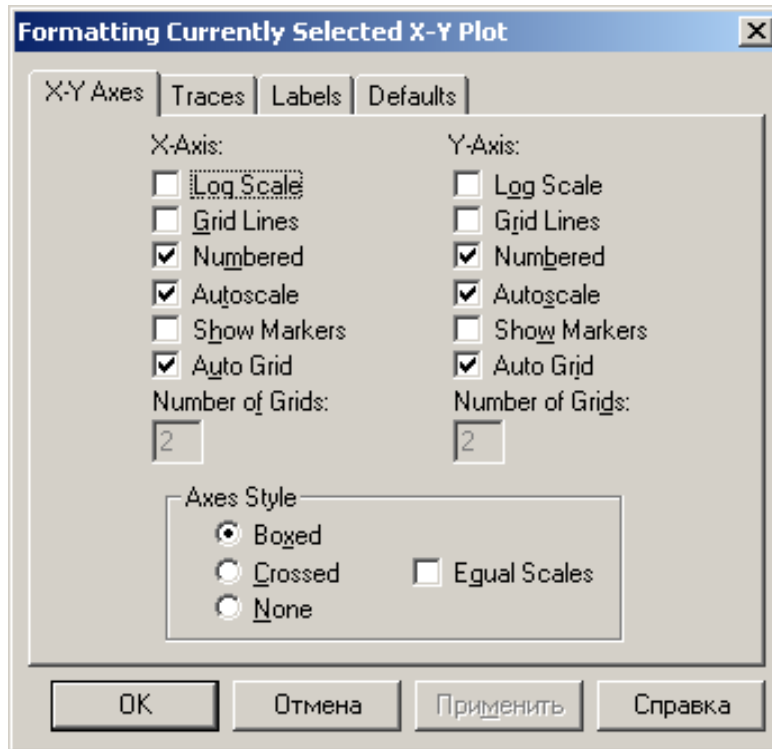
$$x := 0, 0.5.. 20$$

$$M(x) := 20 \cdot x - x^2 \quad Q(x) := 20 - 2 \cdot x$$



Здесь введены две функции пользователя $M(x)$ и $Q(x)$, описывающие законы изменения изгибающих моментов и поперечных сил однопролетной балки, и с помощью дискретной переменной $x := 0, 0.5.. 20$ задана область их определения $0 \leq x \leq 20$.

В рассмотренных выше примерах графики имеют вид в соответствии с параметрами формата, определенными системой при ее запуске. Изменяя параметры первоначального формата, можно придать построенным графикам большую наглядность и информативность. Это осуществляется с помощью диалогового окна форматирования.



Для его открытия необходимо выделить формируемый график и ввести команду **X-Y Plot** подменю **Graph** меню **Format** главного меню системы. Окно можно также открыть, установив курсор мыши в области графика и выполнив двойной щелчок левой клавишей. Окно форматирования двумерных декартовых графиков содержит четыре вкладки.

Для упорядочения использования параметров вкладки **X-Y Axes** они объединены в три группы. С помощью группы параметров **Axes Style**, расположенных внизу на вкладке **X-Y Axes**, можно:

- ввести координатные оси: стандартного вида – параметр **Crossed** и в виде прямоугольника – параметр **Boxed**;
- установить масштабы по осям координат (одинаковые или разные) – параметр **Equal scales**;
- отменить ввод координатных осей – параметр **None**.

Используя группы параметров **X-Axes** или **Y-Axes**, можно для каждой координатной оси:

- выбрать вид числовой шкалы (равномерная или логарифмическая) – параметр **Log Scale**;
- ввести автоматический выбор диапазона изменения числовой шкалы – параметр **AutoScale**;
- показать нумерацию числовой шкалы – параметр **Numbered**;

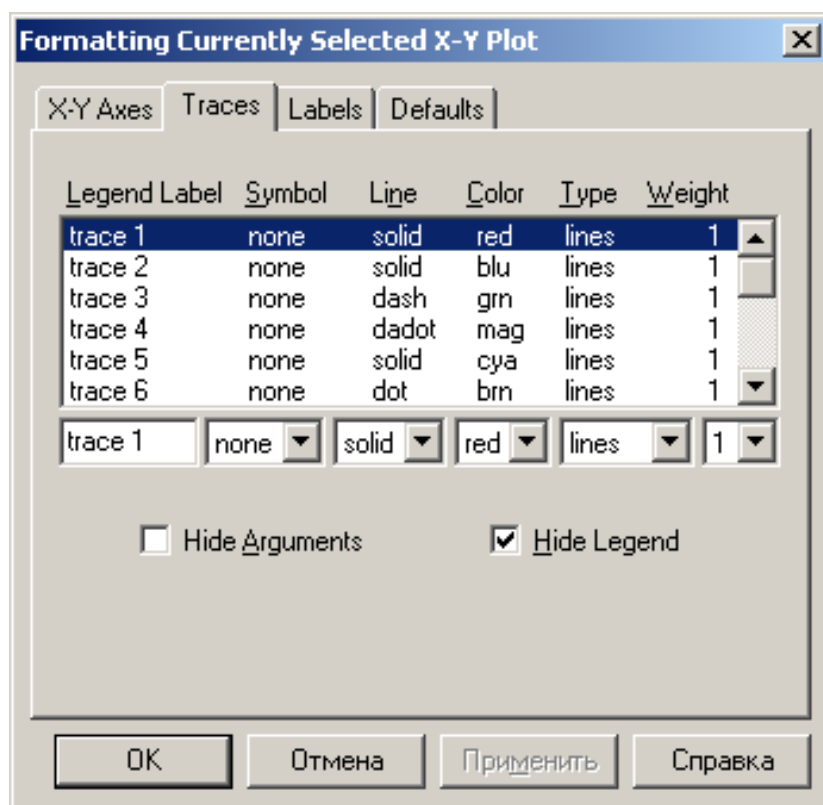
– назначить величину деления шкалы: автоматическое определение системой – параметр **Auto Grid** и ручное определение – параметр **Numbered of Grids**;

– изобразить координатные линии – параметр **Grid Lines**;

– выделить на графике функции две его характерные точки (корни, экстремумы, разрывы и др.) – параметр **Show Markers**.

Задание указанных параметров производится включением или выключением флажка в окошке соответствующего параметра.

Вторая вкладка **Traces** имеет вид



В основу упорядочения структуры параметров вкладки положен список **Legend Label**, состоящий из шестнадцати элементов. Каждый элемент списка соотнесен одному графику и задает ярлык или имя легенды для строки параметров, определяющих вид линии этого графика. Стандартное имя легенды $trace\ n$ ($1 \leq n \leq 16$) может быть изменено с помощью окна редактирования, расположенного под списком элементов.

Параметры каждой строки позволяют:

– задавать тип линии графика – параметр **Line**;

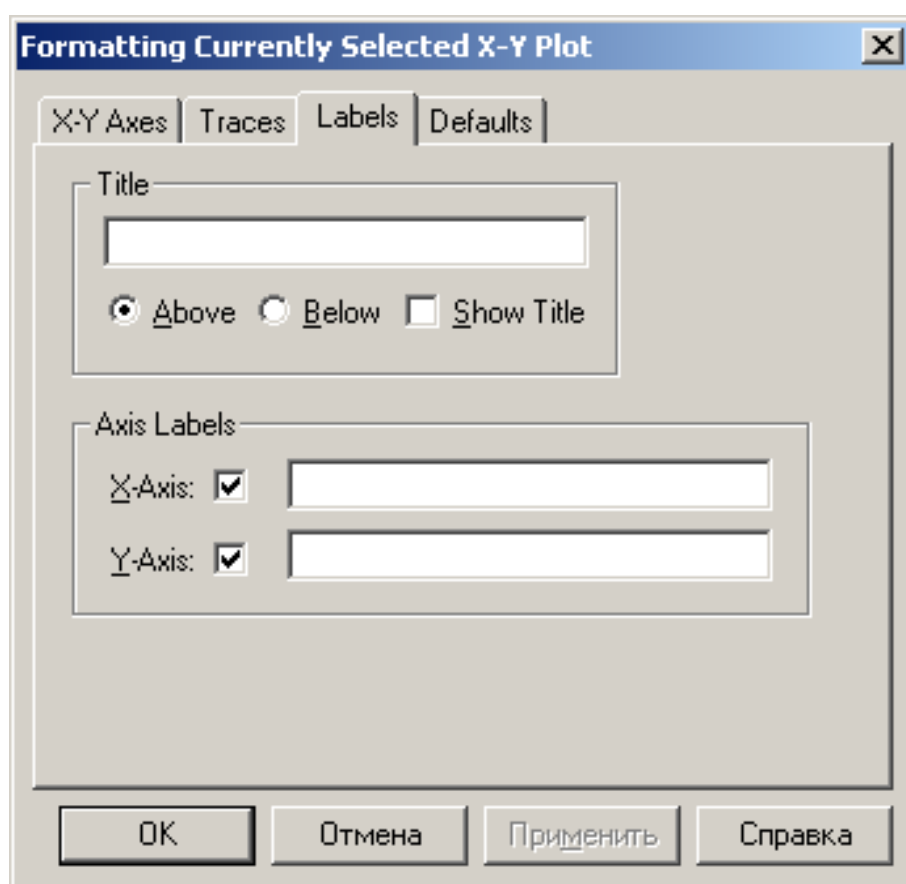
– назначать толщину линии графика – параметр **Weight**;

– определять цвет линии графика – параметр **Color**;

- выбирать тип графика – параметр **Type**;
- вводить символ для выделения узловых точек графика – параметр **Symbol**.

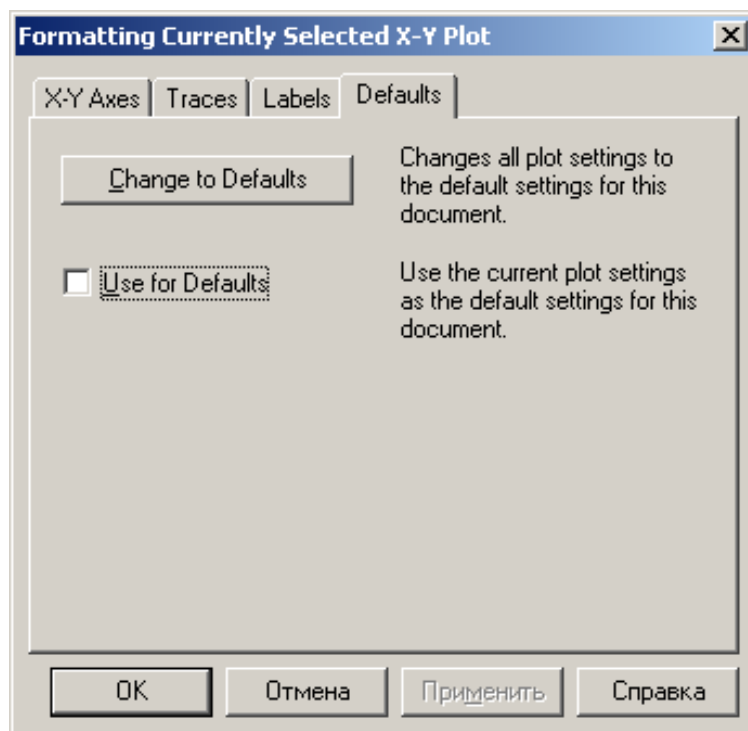
Используя параметры вкладки **Labels** можно:

- создавать заголовок графика в строке **Title**, определять с помощью параметров **Above** и **Below** его расположение по отношению к области построения графика и осуществлять визуализацию заголовка, для чего необходимо установить курсор мыши в окошко команды **Show Title** и включить флажок щелчком левой клавиши;
- вводить подписи к координатным осям в строках **X-Axes** и **Y-Axes** при включенных флажках в соответствующих окошках.



Четвертая вкладка **Defaults** позволяет:

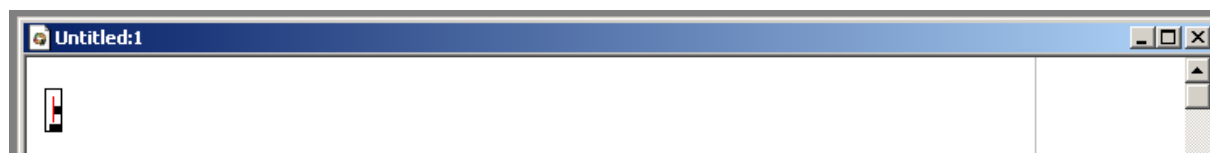
- сохранить сделанные изменения параметров для использования их при построении других графиков, для чего необходимо установить курсор мыши в окошко команды **Use for Defaults** и включить флажок щелчком левой клавиши;
- восстановить первоначальные значения параметров, устанавливаемые при запуске системы, с помощью командной кнопки **Change to Defaults**.



4. Создание текстовых блоков

Текстовые блоки позволяют ввести в MathCAD-документ в необходимом объеме словесное описание сути решаемой задачи, ее алгоритма, полученных результатов, а также отдельные текстовые комментарии, поясняющие формулы, графики и другие элементы, связанные с решением задачи, и расположенные рядом с соответствующими элементами. Это придает законченный вид промежуточным и конечным результатам решенной задачи. Например, при выполнении в MathCAD расчетов строительных конструкций использование текстовых блоков позволит быстро и качественно оформить их в форме пояснительной записки.

Для создания текстовых блоков используется команда **Text Region** меню **Insert** главного меню системы. Это позволяет ввести вместо курсора + текстовый шаблон, состоящий из прямоугольной рамки, маркеров и курсора в виде красной вертикальной линии, который определяет место для ввода текста.

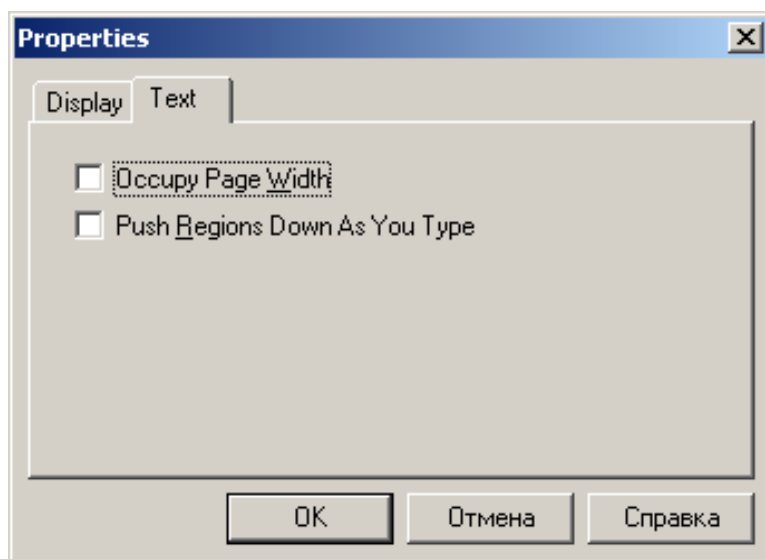


Текстовый шаблон можно также ввести сочетанием клавиш **[Shift + “]**.

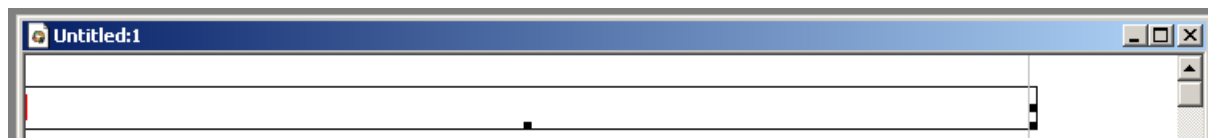
Определяющим параметром текстового блока является его ширина, которая не может превышать ширины страницы рабочего листа документа. Возможно задание двух типов текстовых блоков. Текстовый блок первого типа занимает часть ширины страницы рабочего листа, его ширина определяется размером наиболее длинной строки блока и имеет вид отдельного комментария, расположенного в произвольном месте страницы. Текстовый блок второго типа занимает всю ширину страницы и имеет тот же вид, что и обычный текст, созданный с помощью текстового редактора Microsoft Word.

При создании текстового блока первого типа рамка введенного шаблона задает положение левого верхнего угла блока. По мере ввода текста размеры рамки шаблона изменяются, и задается положение трех остальных углов блока. Кроме того, размеры текстовых блоков могут изменяться с помощью мыши и маркеров рамки шаблона. Для окончания ввода текста необходимо вывести курсор за пределы текстового блока.

Для создания текстового блока второго типа необходимо ввести текстовый шаблон, открыть с помощью команды **Properties** меню **Format** главного меню системы диалоговое окно и установить флажок в окошко параметра **Occupy Page Width**.



В этом случае текстовый шаблон занимает всю ширину страницы.



Установка флажка в окошко второго параметра позволяет сохранить неизменным расстояние между текстовыми блоками обоих типов и остальными объектами документа, расположенными ниже блоков. Это происходит за счет автоматического опускания этих объектов по мере появления новых строк текста.

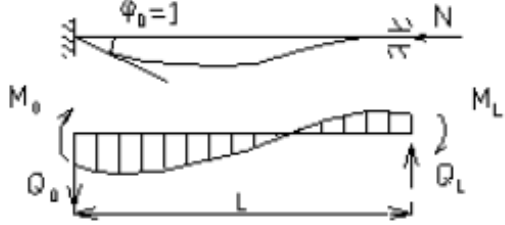
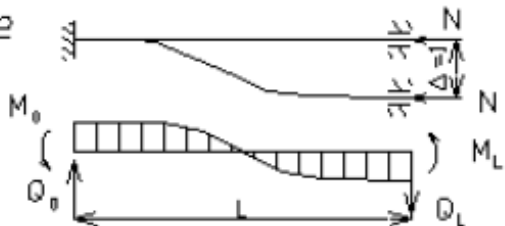
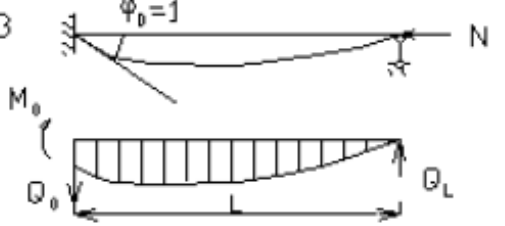
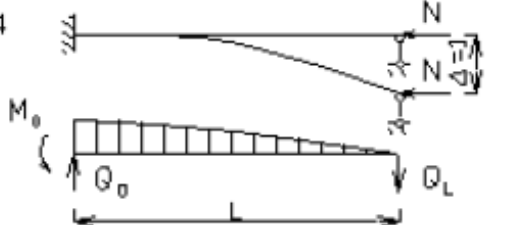
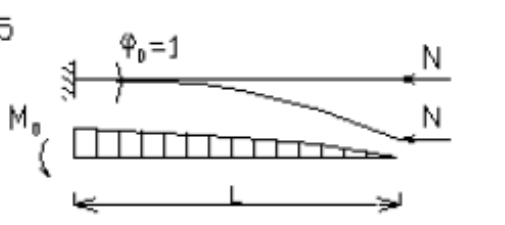
Ввод текста в шаблон, его редактирование и форматирование, копирование и удаление производится в MathCAD с помощью приемов, которые во многом совпадают с аналогичными приемами текстового редактора Microsoft Word. Освоение и применение этих приемов будет осуществляться при оформлении выполненных лабораторных работ.

Создание текстовых блоков большого объема и сложной структуры, включающих графики, рисунки, формулы, можно также осуществлять с помощью редактора Microsoft Word в виде отдельных файлов. Содержимое таких файлов вставляется в MathCAD-документ с помощью команды **Object** меню **Insert** главного меню системы или с помощью буфера обмена.

**Справочные сведения о результатах расчета
сжато-изогнутых стержней на единичные перемещения**

1. Реакции сжато-изогнутых стержней

Таблица 1

Воздействие и эпюра M	Формула для вычисления реакции
<p>1</p> 	$i = EI/L$ $M_0 = 4i\varphi_2(\nu)$ $M_L = 2i\varphi_3(\nu)$ $Q_0 = Q_L = 6i\varphi_4(\nu)/L$
<p>2</p> 	$M_0 = M_L = 6i\varphi_4(\nu)/L$ $Q_0 = Q_L = 12i\eta_2(\nu)/L^2$
<p>3</p> 	$M_0 = 3i\varphi_1(\nu)$ $Q_0 = Q_L = 3i\varphi_2(\nu)/L$
<p>4</p> 	$M_0 = 3i\varphi_1(\nu)/L$ $Q_0 = Q_L = 3i\eta_1(\nu)/L^2$
<p>5</p> 	$M_0 = i\varphi_5(\nu) = i\nu \operatorname{tg} \nu$ $Q_0 = 0$

2. Функции метода перемещений для сжато-изогнутых стержней

$$\varphi_1(\nu) = \frac{\nu^2 \operatorname{tg} \nu}{3(\operatorname{tg} \nu - \nu)};$$

$$\varphi_2(\nu) = \frac{\nu(\operatorname{tg} \nu - \nu)}{8 \operatorname{tg} \nu \left(\operatorname{tg} \frac{\nu}{2} - \frac{\nu}{2} \right)}$$

$$\varphi_3(\nu) = \frac{\nu(\nu - \sin \nu)}{4 \sin \nu \left(\operatorname{tg} \frac{\nu}{2} - \frac{\nu}{2} \right)};$$

$$\varphi_4(\nu) = \frac{\left(\frac{\nu}{2} \right)^2 \operatorname{tg} \frac{\nu}{2}}{3 \left(\operatorname{tg} \frac{\nu}{2} - \frac{\nu}{2} \right)};$$

$$\eta_1(\nu) = \frac{\nu^3}{3(\operatorname{tg} \nu - \nu)};$$

$$\eta_2(\nu) = \frac{\left(\frac{\nu}{2} \right)^3}{3 \left(\operatorname{tg} \frac{\nu}{2} - \frac{\nu}{2} \right)};$$

$$\varphi_5(\nu) = \nu \operatorname{tg} \nu;$$

$$\varphi_6(\nu) = \frac{4 \operatorname{tg} \frac{\nu}{4}}{\nu};$$

$$\varphi_7(\nu) = \frac{\frac{1}{\cos \frac{\nu}{2}} - 1}{\left(1 - \frac{\nu}{\operatorname{tg} \nu} \right)^6};$$

$$\varphi_8(\nu) = \frac{\eta_1(\nu)}{\nu^3} \left(\frac{\sin \frac{\nu}{2}}{\cos \nu} - \frac{\nu}{2} \right)$$

3. Значения функций метода перемещений для сжато-изогнутых стержней

Таблица 2

ν	$\varphi_1(\nu)$	$\varphi_2(\nu)$	$\varphi_3(\nu)$	$\varphi_4(\nu)$	$\eta_1(\nu)$	$\eta_2(\nu)$
0,1	0,99933	0,99967	1,00017	0,99983	0,99600	0,99900
0,2	0,99733	0,99867	1,00067	0,99933	0,98400	0,99600
0,3	0,99398	0,99700	1,00150	0,99850	0,96398	0,99100
0,4	0,98928	0,99466	1,00268	0,99733	0,93595	0,98400
0,5	0,98321	0,99164	1,00420	0,99583	0,89988	0,97499
0,6	0,97575	0,98794	1,00607	0,99398	0,85575	0,96398
0,7	0,96687	0,98356	1,00829	0,99180	0,80353	0,95097
0,8	0,95653	0,97849	1,01088	0,98928	0,74320	0,93595
0,9	0,94470	0,97271	1,01385	0,98642	0,67470	0,91892
1,0	0,93134	0,96622	1,01720	0,98321	0,59801	0,89988
1,1	0,91639	0,95901	1,02095	0,97966	0,51305	0,87882
1,2	0,89978	0,95107	1,02511	0,97575	0,41978	0,85575
1,3	0,88145	0,94237	1,02971	0,97149	0,31812	0,83065
1,4	0,86131	0,93292	1,03476	0,96687	0,20798	0,80353
1,5	0,83928	0,92268	1,04029	0,96188	0,08928	0,77438
$\pi/2$	0,82247	0,91495	1,04450	0,95813	0,00000	0,75251
1,6	0,81523	0,91164	1,04631	0,95653	-0,03810	0,74320
1,7	0,78905	0,89978	1,05286	0,95081	-0,17428	0,70997
1,8	0,76059	0,88708	1,05996	0,94470	-0,31941	0,67470
1,9	0,72969	0,87350	1,06765	0,93822	-0,47365	0,63738
2	0,69614	0,85903	1,07596	0,93134	-0,63719	0,59801
2,02	0,68910	0,85602	1,07771	0,92992	-0,67104	0,58988
2,04	0,68194	0,85298	1,07947	0,92848	-0,70526	0,58168
2,06	0,67466	0,84990	1,08127	0,92702	-0,73988	0,57339
2,08	0,66726	0,84678	1,08309	0,92555	-0,77488	0,56502
2,1	0,65973	0,84362	1,08495	0,92406	-0,81027	0,55656
2,12	0,65208	0,84043	1,08683	0,92256	-0,84605	0,54803
2,14	0,64431	0,83719	1,08874	0,92104	-0,88223	0,53941
2,16	0,63640	0,83392	1,09068	0,91951	-0,91880	0,53071
2,18	0,62836	0,83061	1,09265	0,91795	-0,95577	0,52192
2,2	0,62019	0,82726	1,09465	0,91639	-0,99315	0,51305
2,22	0,61187	0,82386	1,09668	0,91480	-1,03093	0,50410

Продолжение таблицы 2

ν	$\varphi_1(\nu)$	$\varphi_2(\nu)$	$\varphi_3(\nu)$	$\varphi_4(\nu)$	$\eta_1(\nu)$	$\eta_2(\nu)$
2,24	0,60342	0,82043	1,09874	0,91320	-1,06911	0,49506
2,26	0,59483	0,81696	1,10083	0,91158	-1,10771	0,48595
2,28	0,58608	0,81344	1,10295	0,90994	-1,14672	0,47674
2,3	0,57719	0,80988	1,10511	0,90829	-1,18614	0,46746
2,32	0,56815	0,80629	1,10730	0,90662	-1,22598	0,45809
2,34	0,55895	0,80265	1,10952	0,90494	-1,26625	0,44864
2,36	0,54959	0,79896	1,11178	0,90324	-1,30694	0,43910
2,38	0,54007	0,79524	1,11407	0,90152	-1,34806	0,42948
2,4	0,53038	0,79147	1,11640	0,89978	-1,38962	0,41978
2,42	0,52052	0,78766	1,11876	0,89802	-1,43161	0,40999
2,44	0,51049	0,78380	1,12116	0,89625	-1,47405	0,40012
2,46	0,50028	0,77990	1,12360	0,89446	-1,51692	0,39016
2,48	0,48988	0,77595	1,12607	0,89266	-1,56025	0,38012
2,5	0,47930	0,77196	1,12858	0,89083	-1,60403	0,37000
2,52	0,46853	0,76792	1,13113	0,88899	-1,64827	0,35979
2,54	0,45756	0,76384	1,13372	0,88713	-1,69298	0,34950
2,56	0,44638	0,75971	1,13634	0,88526	-1,73815	0,33912
2,58	0,43500	0,75554	1,13901	0,88336	-1,78380	0,32866
2,6	0,42341	0,75131	1,14172	0,88145	-1,82992	0,31812
2,62	0,41160	0,74704	1,14447	0,87952	-1,87653	0,30748
2,64	0,39957	0,74272	1,14727	0,87757	-1,92363	0,29677
2,66	0,38731	0,73835	1,15010	0,87560	-1,97123	0,28597
2,68	0,37481	0,73393	1,15298	0,87362	-2,01933	0,27508
2,7	0,36206	0,72946	1,15591	0,87161	-2,06794	0,26411
2,72	0,34907	0,72494	1,15888	0,86959	-2,11706	0,25306
2,74	0,33582	0,72037	1,16190	0,86755	-2,16671	0,24191
2,76	0,32230	0,71575	1,16496	0,86549	-2,21690	0,23069
2,78	0,30851	0,71108	1,16807	0,86341	-2,26762	0,21938
2,8	0,29444	0,70635	1,17123	0,86131	-2,31889	0,20798
2,82	0,28008	0,70157	1,17444	0,85920	-2,37072	0,19650
2,84	0,26542	0,69674	1,17771	0,85706	-2,42312	0,18493
2,86	0,25045	0,69185	1,18102	0,85491	-2,47609	0,17327
2,88	0,23516	0,68691	1,18438	0,85273	-2,52964	0,16153
2,9	0,21954	0,68191	1,18780	0,85054	-2,58380	0,14970
2,92	0,20358	0,67685	1,19127	0,84832	-2,63856	0,13779
2,94	0,18726	0,67174	1,19480	0,84609	-2,69394	0,12579

Продолжение таблицы 2

ν	$\varphi_1(\nu)$	$\varphi_2(\nu)$	$\varphi_3(\nu)$	$\varphi_4(\nu)$	$\eta_1(\nu)$	$\eta_2(\nu)$
2,96	0,17059	0,66657	1,19839	0,84384	-2,74995	0,11371
2,98	0,15353	0,66134	1,20203	0,84157	-2,80660	0,10153
3	0,13608	0,65605	1,20573	0,83928	-2,86392	0,08928
3,02	0,11823	0,65070	1,20949	0,83696	-2,92191	0,07693
3,04	0,09995	0,64529	1,21331	0,83463	-2,98058	0,06450
3,06	0,08124	0,63982	1,21719	0,83228	-3,03996	0,05198
3,08	0,06207	0,63429	1,22114	0,82991	-3,10006	0,03937
3,1	0,04243	0,62869	1,22515	0,82751	-3,16090	0,02668
3,12	0,02231	0,62303	1,22922	0,82510	-3,22249	0,01390
3,14	0,00167	0,61731	1,23337	0,82266	-3,28487	0,00103
π	0,00000	0,61685	1,23370	0,82247	-3,28987	0,00000
3,16	-0,01950	0,61152	1,23758	0,82021	-3,34804	-0,01193
3,18	-0,04123	0,60566	1,24186	0,81773	-3,41203	-0,02497
3,2	-0,06353	0,59974	1,24621	0,81523	-3,47687	-0,03810
3,22	-0,08644	0,59375	1,25064	0,81271	-3,54257	-0,05132
3,24	-0,10998	0,58768	1,25514	0,81017	-3,60918	-0,06463
3,26	-0,13417	0,58155	1,25972	0,80761	-3,67670	-0,07803
3,28	-0,15905	0,57535	1,26437	0,80502	-3,74519	-0,09151
3,3	-0,18466	0,56907	1,26910	0,80242	-3,81466	-0,10508
3,32	-0,21102	0,56272	1,27392	0,79979	-3,88515	-0,11875
3,34	-0,23818	0,55630	1,27881	0,79714	-3,95671	-0,13250
3,36	-0,26616	0,54980	1,28379	0,79446	-4,02936	-0,14634
3,38	-0,29503	0,54322	1,28886	0,79177	-4,10316	-0,16026
3,4	-0,32481	0,53657	1,29401	0,78905	-4,17814	-0,17428
3,42	-0,35556	0,52984	1,29926	0,78631	-4,25436	-0,18839
3,44	-0,38734	0,52302	1,30460	0,78355	-4,33187	-0,20259
3,46	-0,42020	0,51613	1,31003	0,78076	-4,41073	-0,21687
3,48	-0,45419	0,50915	1,31555	0,77795	-4,49099	-0,23125
3,5	-0,48939	0,50209	1,32118	0,77512	-4,57273	-0,24572
3,52	-0,52587	0,49494	1,32690	0,77226	-4,65601	-0,26027
3,54	-0,56371	0,48770	1,33273	0,76938	-4,74091	-0,27492
3,56	-0,60298	0,48038	1,33867	0,76647	-4,82752	-0,28966
3,58	-0,64379	0,47296	1,34471	0,76355	-4,91592	-0,30449
3,6	-0,68622	0,46546	1,35086	0,76059	-5,00622	-0,31941
3,62	-0,73040	0,45786	1,35713	0,75761	-5,09853	-0,33442
3,64	-0,77643	0,45016	1,36351	0,75461	-5,19296	-0,34952

Продолжение таблицы 2

ν	$\varphi_1(\nu)$	$\varphi_2(\nu)$	$\varphi_3(\nu)$	$\varphi_4(\nu)$	$\eta_1(\nu)$	$\eta_2(\nu)$
3,66	-0,82445	0,44237	1,37001	0,75159	-5,28965	-0,36471
3,68	-0,87459	0,43449	1,37663	0,74853	-5,38873	-0,38000
3,7	-0,92703	0,42650	1,38338	0,74546	-5,49036	-0,39538
3,72	-0,98193	0,41841	1,39025	0,74235	-5,59473	-0,41085
3,74	-1,03948	0,41021	1,39725	0,73923	-5,70201	-0,42641
3,76	-1,09989	0,40191	1,40439	0,73607	-5,81242	-0,44206
3,78	-1,16340	0,39351	1,41167	0,73289	-5,92620	-0,45781
3,8	-1,23028	0,38499	1,41909	0,72969	-6,04362	-0,47365
3,82	-1,30082	0,37636	1,42665	0,72646	-6,16496	-0,48958
3,84	-1,37535	0,36762	1,43436	0,72320	-6,29055	-0,50560
3,86	-1,45425	0,35876	1,44222	0,71991	-6,42078	-0,52172
3,88	-1,53793	0,34978	1,45024	0,71660	-6,55606	-0,53793
3,9	-1,62687	0,34068	1,45842	0,71326	-6,69687	-0,55424
3,92	-1,72161	0,33146	1,46676	0,70989	-6,84375	-0,57064
3,94	-1,82279	0,32211	1,47527	0,70650	-6,99732	-0,58714
3,96	-1,93111	0,31263	1,48396	0,70307	-7,15831	-0,60373
3,98	-2,04741	0,30302	1,49282	0,69962	-7,32754	-0,62041
4	-2,17265	0,29328	1,50187	0,69614	-7,50598	-0,63719
4,02	-2,30794	0,28340	1,51111	0,69263	-7,69474	-0,65407
4,04	-2,45462	0,27338	1,52054	0,68910	-7,89515	-0,67104
4,06	-2,61425	0,26321	1,53017	0,68553	-8,10878	-0,68810
4,08	-2,78870	0,25290	1,54001	0,68194	-8,33750	-0,70526
4,1	-2,98023	0,24244	1,55006	0,67831	-8,58356	-0,72252
4,12	-3,19155	0,23182	1,56032	0,67466	-8,84968	-0,73988
4,14	-3,42603	0,22105	1,57081	0,67097	-9,13923	-0,75733
4,16	-3,68782	0,21012	1,58153	0,66726	-9,45635	-0,77488
4,18	-3,98213	0,19902	1,59249	0,66351	-9,80627	-0,79252
4,2	-4,31560	0,18775	1,60369	0,65973	-10,19560	-0,81027
4,22	-4,69681	0,17631	1,61514	0,65592	-10,63295	-0,82811
4,24	-5,13704	0,16470	1,62685	0,65208	-11,12958	-0,84605
4,26	-5,65145	0,15290	1,63884	0,64821	-11,70065	-0,86409
4,28	-6,26086	0,14091	1,65109	0,64431	-12,36699	-0,88223
4,3	-6,99473	0,12873	1,66364	0,64037	-13,15806	-0,90046
4,32	-7,89609	0,11636	1,67647	0,63640	-14,11689	-0,91880
4,34	-9,03042	0,10379	1,68961	0,63240	-15,30895	-0,93724
4,36	-10,50245	0,09100	1,70307	0,62836	-16,83899	-0,95577

Продолжение таблицы 2

ν	$\varphi_1(\nu)$	$\varphi_2(\nu)$	$\varphi_3(\nu)$	$\varphi_4(\nu)$	$\eta_1(\nu)$	$\eta_2(\nu)$
4,38	-12,49082	0,07801	1,71685	0,62429	-18,88562	-0,97441
4,4	-15,32713	0,06480	1,73096	0,62019	-21,78046	-0,99315
4,42	-19,70434	0,05136	1,74543	0,61605	-26,21647	-1,01199
4,44	-27,35342	0,03769	1,76024	0,61187	-33,92462	-1,03093
4,46	-44,15015	0,02378	1,77543	0,60767	-50,78068	-1,04997
4,48	-111,57	0,00963	1,79101	0,60342	-118,26	-1,06911
4,5	227,92924	-0,00477	1,80698	0,59914	221,17924	-1,08836
4,52	56,98304	-0,01944	1,82336	0,59483	50,17291	-1,10771
4,54	32,79368	-0,03437	1,84016	0,59047	25,92314	-1,12716
4,56	23,12892	-0,04958	1,85741	0,58608	16,19772	-1,14672
4,58	17,92436	-0,06507	1,87512	0,58166	10,93223	-1,16638
4,6	14,66930	-0,08086	1,89330	0,57719	7,61596	-1,18614
4,62	12,43967	-0,09695	1,91197	0,57269	5,32487	-1,20601
4,64	10,81573	-0,11335	1,93115	0,56815	3,63920	-1,22598
4,66	9,57929	-0,13008	1,95087	0,56357	2,34076	-1,24606
4,68	8,60571	-0,14714	1,97113	0,55895	1,30491	-1,26625
4,7	7,81862	-0,16455	1,99197	0,55429	0,45529	-1,28654
3/2 π	7,40220	-0,17551	2,00517	0,55138	0,00000	-1,29917
4,72	7,16860	-0,18231	2,01340	0,54959	-0,25753	-1,30694
4,74	6,62228	-0,20045	2,03545	0,54485	-0,86692	-1,32745
4,76	6,15629	-0,21897	2,05815	0,54007	-1,39625	-1,34806
4,78	5,75378	-0,23789	2,08152	0,53525	-1,86235	-1,36879
4,8	5,40232	-0,25723	2,10559	0,53038	-2,27768	-1,38962
4,82	5,09249	-0,27699	2,13039	0,52547	-2,65164	-1,41056
4,84	4,81707	-0,29720	2,15595	0,52052	-2,99146	-1,43161
4,86	4,57041	-0,31786	2,18231	0,51553	-3,30279	-1,45277
4,88	4,34802	-0,33902	2,20949	0,51049	-3,59011	-1,47405
4,9	4,14630	-0,36067	2,23754	0,50540	-3,85703	-1,49543
4,92	3,96233	-0,38284	2,26650	0,50028	-4,10647	-1,51692
4,94	3,79369	-0,40555	2,29641	0,49510	-4,34084	-1,53853
4,96	3,63840	-0,42883	2,32730	0,48988	-4,56213	-1,56025
4,98	3,49480	-0,45270	2,35924	0,48461	-4,77200	-1,58209
5	3,36148	-0,47718	2,39226	0,47930	-4,97185	-1,60403
5,02	3,23726	-0,50231	2,42642	0,47394	-5,16288	-1,62610
5,04	3,12111	-0,52811	2,46179	0,46853	-5,34609	-1,64827
5,06	3,01216	-0,55461	2,49841	0,46307	-5,52237	-1,67057

Продолжение таблицы 2

ν	$\varphi_1(\nu)$	$\varphi_2(\nu)$	$\varphi_3(\nu)$	$\varphi_4(\nu)$	$\eta_1(\nu)$	$\eta_2(\nu)$
5,08	2,90967	-0,58185	2,53636	0,45756	-5,69246	-1,69298
5,1	2,81297	-0,60986	2,57570	0,45200	-5,85703	-1,71550
5,12	2,72149	-0,63867	2,61650	0,44638	-6,01664	-1,73815
5,14	2,63474	-0,66834	2,65885	0,44072	-6,17179	-1,76091
5,16	2,55227	-0,69891	2,70283	0,43500	-6,32293	-1,78380
5,18	2,47368	-0,73041	2,74852	0,42924	-6,47045	-1,80680
5,2	2,39864	-0,76290	2,79604	0,42341	-6,61469	-1,82992
5,22	2,32683	-0,79643	2,84547	0,41754	-6,75597	-1,85316
5,24	2,25798	-0,83106	2,89694	0,41160	-6,89455	-1,87653
5,26	2,19184	-0,86686	2,95057	0,40562	-7,03069	-1,90002
5,28	2,12818	-0,90388	3,00648	0,39957	-7,16462	-1,92363
5,3	2,06681	-0,94221	3,06482	0,39347	-7,29653	-1,94737
5,32	2,00753	-0,98191	3,12575	0,38731	-7,42660	-1,97123
5,34	1,95020	-1,02308	3,18943	0,38109	-7,55500	-1,99521
5,36	1,89464	-1,06581	3,25603	0,37481	-7,68189	-2,01933
5,38	1,84074	-1,11019	3,32578	0,36847	-7,80739	-2,04357
5,4	1,78835	-1,15634	3,39886	0,36206	-7,93165	-2,06794
5,42	1,73737	-1,20437	3,47553	0,35560	-8,05476	-2,09244
5,44	1,68769	-1,25442	3,55604	0,34907	-8,17684	-2,11706
5,46	1,63921	-1,30662	3,64068	0,34248	-8,29799	-2,14182
5,48	1,59183	-1,36115	3,72975	0,33582	-8,41830	-2,16671
5,5	1,54548	-1,41816	3,82360	0,32909	-8,53785	-2,19174
5,52	1,50008	-1,47785	3,92261	0,32230	-8,65672	-2,21690
5,54	1,45555	-1,54044	4,02721	0,31544	-8,77498	-2,24219
5,56	1,41183	-1,60616	4,13786	0,30851	-8,89271	-2,26762
5,58	1,36885	-1,67527	4,25507	0,30151	-9,00995	-2,29319
5,6	1,32655	-1,74806	4,37945	0,29444	-9,12678	-2,31889
5,62	1,28488	-1,82487	4,51163	0,28730	-9,24325	-2,34474
5,64	1,24378	-1,90605	4,65235	0,28008	-9,35942	-2,37072
5,66	1,20321	-1,99204	4,80244	0,27279	-9,47532	-2,39685
5,68	1,16312	-2,08329	4,96284	0,26542	-9,59101	-2,42312
5,7	1,12346	-2,18035	5,13461	0,25797	-9,70654	-2,44953
5,72	1,08418	-2,28382	5,31899	0,25045	-9,82195	-2,47609
5,74	1,04526	-2,39441	5,51736	0,24284	-9,93727	-2,50279
5,76	1,00665	-2,51293	5,73134	0,23516	-10,05255	-2,52964
5,78	0,96831	-2,64031	5,96280	0,22739	-10,16782	-2,55664

Окончание таблицы 2

ν	$\varphi_1(\nu)$	$\varphi_2(\nu)$	$\varphi_3(\nu)$	$\varphi_4(\nu)$	$\eta_1(\nu)$	$\eta_2(\nu)$
5,8	0,93021	-2,77765	6,21392	0,21954	-10,28312	-2,58380
5,82	0,89231	-2,92623	6,48726	0,21160	-10,39849	-2,61110
5,84	0,85458	-3,08755	6,78584	0,20358	-10,51395	-2,63856
5,86	0,81699	-3,26342	7,11324	0,19547	-10,62955	-2,66617
5,88	0,77950	-3,45599	7,47378	0,18726	-10,74530	-2,69394
5,9	0,74208	-3,66787	7,87265	0,17897	-10,86125	-2,72186
5,92	0,70471	-3,90222	8,31620	0,17059	-10,97742	-2,74995
5,94	0,66736	-4,16298	8,81227	0,16211	-11,09384	-2,77819
5,96	0,62999	-4,45501	9,37061	0,15353	-11,21055	-2,80660
5,98	0,59257	-4,78451	10,00358	0,14485	-11,32756	-2,83518
6	0,55509	-5,15938	10,72700	0,13608	-11,44491	-2,86392
6,02	0,51750	-5,58995	11,56152	0,12721	-11,56263	-2,89283
6,04	0,47979	-6,08996	12,53459	0,11823	-11,68074	-2,92191
6,06	0,44192	-6,67802	13,68347	0,10914	-11,79928	-2,95116
6,08	0,40387	-7,38014	15,06013	0,09995	-11,91827	-2,98058
6,1	0,36560	-8,23362	16,73920	0,09065	-12,03774	-3,01018
6,12	0,32709	-9,29410	18,83192	0,08124	-12,15771	-3,03996
6,14	0,28830	-10,64827	21,51167	0,07171	-12,27823	-3,06992
6,16	0,24922	-12,43912	25,06446	0,06207	-12,39931	-3,10006
6,18	0,20980	-14,92054	29,99802	0,05231	-12,52100	-3,13039
6,2	0,17003	-18,59053	37,30836	0,04243	-12,64331	-3,16090
6,22	0,12986	-24,57764	49,25258	0,03243	-12,76628	-3,19160
6,24	0,08926	-36,10105	72,26902	0,02231	-12,88994	-3,22249
6,26	0,04821	-67,48758	135,03	0,01205	-13,01432	-3,25358
6,28	0,00666	-492,67	984,32	0,00167	-13,13947	-3,28487
2π	0,00000	$-\infty$	$+\infty$	0,00000	-13,15947	-3,28987

Таблица 3

ν	$\varphi_5(\nu)$	$\varphi_6(\nu)$	$\varphi_7(\nu)$	$\varphi_8(\nu)$
0,1	0,01003	1,00021	0,06252	0,22919
0,2	0,04054	1,00083	0,06259	0,22926
0,3	0,09280	1,00188	0,06271	0,22938
0,4	0,16912	1,00335	0,06288	0,22954
0,5	0,27315	1,00524	0,06309	0,22976
0,6	0,41048	1,00757	0,06336	0,23002
0,7	0,58960	1,01033	0,06368	0,23034
0,8	0,82371	1,01355	0,06405	0,23071
0,9	1,13414	1,01722	0,06447	0,23114
1,0	1,55741	1,02137	0,06496	0,23162
1,1	2,16124	1,02599	0,06551	0,23217
1,2	3,08658	1,03112	0,06612	0,23278
1,3	4,68273	1,03676	0,06680	0,23347
1,4	8,11704	1,04294	0,06756	0,23422
1,5	21,15213	1,04967	0,06839	0,23506
$\pi/2$	-	1,05479	0,06904	0,23570
1,6	-54,77205	1,05698	0,06931	0,23598
1,7	-13,08422	1,06490	0,07033	0,23700
1,8	-7,71527	1,07346	0,07145	0,23812
1,9	-5,56149	1,08268	0,07268	0,23935
2	-4,37008	1,09260	0,07404	0,24070
2,02	-4,19023	1,09468	0,07432	0,24099
2,04	-4,02395	1,09678	0,07462	0,24128
2,06	-3,86952	1,09892	0,07491	0,24158
2,08	-3,72550	1,10108	0,07522	0,24189
2,1	-3,59068	1,10328	0,07553	0,24220
2,12	-3,46400	1,10550	0,07585	0,24251
2,14	-3,34456	1,10776	0,07617	0,24284
2,16	-3,23158	1,11005	0,07650	0,24317
2,18	-3,12440	1,11238	0,07683	0,24350
2,2	-3,02241	1,11474	0,07718	0,24384
2,22	-2,92510	1,11713	0,07753	0,24419
2,24	-2,83201	1,11955	0,07788	0,24455
2,26	-2,74272	1,12201	0,07825	0,24491
2,28	-2,65689	1,12451	0,07862	0,24529
2,3	-2,57419	1,12704	0,07900	0,24567
2,32	-2,49433	1,12960	0,07939	0,24605
2,34	-2,41704	1,13220	0,07978	0,24645
2,36	-2,34211	1,13484	0,08018	0,24685
2,38	-2,26930	1,13752	0,08060	0,24726
2,4	-2,19843	1,14023	0,08102	0,24768

Продолжение таблицы 3

ν	$\varphi_5(\nu)$	$\varphi_6(\nu)$	$\varphi_7(\nu)$	$\varphi_8(\nu)$
2,42	-2,12933	1,14298	0,08145	0,24811
2,44	-2,06184	1,14577	0,08188	0,24855
2,46	-1,99580	1,14860	0,08233	0,24900
2,48	-1,93108	1,15147	0,08279	0,24946
2,5	-1,86756	1,15438	0,08326	0,24993
2,52	-1,80512	1,15732	0,08374	0,25040
2,54	-1,74365	1,16032	0,08423	0,25089
2,56	-1,68306	1,16335	0,08472	0,25139
2,58	-1,62326	1,16643	0,08524	0,25190
2,6	-1,56415	1,16955	0,08576	0,25242
2,62	-1,50566	1,17271	0,08629	0,25296
2,64	-1,44770	1,17592	0,08684	0,25351
2,66	-1,39021	1,17917	0,08740	0,25406
2,68	-1,33312	1,18247	0,08797	0,25464
2,7	-1,27636	1,18581	0,08856	0,25522
2,72	-1,21988	1,18921	0,08916	0,25582
2,74	-1,16360	1,19265	0,08977	0,25644
2,76	-1,10748	1,19614	0,09040	0,25707
2,78	-1,05146	1,19968	0,09104	0,25771
2,8	-0,99548	1,20327	0,09170	0,25837
2,82	-0,93951	1,20691	0,09238	0,25905
2,84	-0,88347	1,21060	0,09307	0,25974
2,86	-0,82734	1,21435	0,09378	0,26045
2,88	-0,77106	1,21815	0,09451	0,26118
2,9	-0,71458	1,22200	0,09526	0,26193
2,92	-0,65785	1,22591	0,09603	0,26270
2,94	-0,60084	1,22988	0,09682	0,26349
2,96	-0,54350	1,23390	0,09763	0,26430
2,98	-0,48578	1,23799	0,09846	0,26513
3	-0,42764	1,24213	0,09931	0,26598
3,02	-0,36903	1,24633	0,10019	0,26686
3,04	-0,30991	1,25059	0,10110	0,26776
3,06	-0,25023	1,25492	0,10202	0,26869
3,08	-0,18995	1,25931	0,10298	0,26965
3,1	-0,12901	1,26376	0,10396	0,27063
3,12	-0,06738	1,26828	0,10498	0,27164

Продолжение таблицы 3

ν	$\varphi_5(\nu)$	$\varphi_6(\nu)$	$\varphi_7(\nu)$	$\varphi_8(\nu)$
3,14	-0,00500	1,27287	0,10602	0,27269
π	0,00000	1,27324	0,10610	0,27277
3,16	0,05817	1,27753	0,10709	0,27376
3,18	0,12220	1,28225	0,10820	0,27487
3,2	0,18712	1,28705	0,10934	0,27601
3,22	0,25299	1,29192	0,11052	0,27719
3,24	0,31987	1,29686	0,11174	0,27841
3,26	0,38782	1,30187	0,11300	0,27966
3,28	0,45690	1,30697	0,11429	0,28096
3,3	0,52716	1,31214	0,11564	0,28230
3,32	0,59868	1,31739	0,11702	0,28369
3,34	0,67152	1,32272	0,11846	0,28513
3,36	0,74574	1,32813	0,11995	0,28661
3,38	0,82144	1,33363	0,12149	0,28816
3,4	0,89868	1,33921	0,12309	0,28975
3,42	0,97754	1,34489	0,12474	0,29141
3,44	1,05812	1,35065	0,12646	0,29313
3,46	1,14049	1,35650	0,12825	0,29492
3,48	1,22477	1,36244	0,13011	0,29678
3,5	1,31105	1,36848	0,13204	0,29871
3,52	1,39944	1,37462	0,13405	0,30072
3,54	1,49005	1,38085	0,13615	0,30282
3,56	1,58300	1,38719	0,13833	0,30500
3,58	1,67843	1,39363	0,14062	0,30728
3,6	1,77648	1,40018	0,14300	0,30967
3,62	1,87729	1,40683	0,14549	0,31216
3,64	1,98102	1,41359	0,14810	0,31477
3,66	2,08784	1,42047	0,15083	0,31750
3,68	2,19794	1,42746	0,15370	0,32037
3,7	2,31151	1,43457	0,15671	0,32338
3,72	2,42877	1,44180	0,15988	0,32655
3,74	2,54994	1,44915	0,16322	0,32988
3,76	2,67527	1,45663	0,16673	0,33340
3,78	2,80503	1,46424	0,17044	0,33711
3,8	2,93951	1,47198	0,17437	0,34104
3,82	3,07904	1,47986	0,17853	0,34519

Продолжение таблицы 3

ν	$\varphi_5(\nu)$	$\varphi_6(\nu)$	$\varphi_7(\nu)$	$\varphi_8(\nu)$
3,84	3,22395	1,48787	0,18294	0,34961
3,86	3,37462	1,49603	0,18763	0,35429
3,88	3,53147	1,50433	0,19262	0,35929
3,9	3,69496	1,51278	0,19795	0,36462
3,92	3,86557	1,52139	0,20365	0,37032
3,94	4,04387	1,53015	0,20976	0,37643
3,96	4,23046	1,53907	0,21632	0,38299
3,98	4,42601	1,54815	0,22340	0,39007
4	4,63129	1,55741	0,23105	0,39771
4,02	4,84711	1,56684	0,23934	0,40600
4,04	5,07442	1,57644	0,24836	0,41502
4,06	5,31427	1,58623	0,25821	0,42487
4,08	5,56784	1,59621	0,26901	0,43567
4,1	5,83646	1,60638	0,28090	0,44757
4,12	6,12165	1,61674	0,29407	0,46073
4,14	6,42514	1,62731	0,30872	0,47538
4,16	6,74890	1,63809	0,32512	0,49179
4,18	7,09520	1,64909	0,34362	0,51028
4,2	7,46668	1,66030	0,36462	0,53129
4,22	7,86637	1,67174	0,38870	0,55537
4,24	8,29786	1,68342	0,41657	0,58324
4,26	8,76534	1,69534	0,44921	0,61588
4,28	9,27379	1,70750	0,48796	0,65463
4,3	9,82915	1,71992	0,53472	0,70138
4,32	10,43856	1,73261	0,59224	0,75891
4,34	11,11071	1,74556	0,66476	0,83142
4,36	11,85626	1,75880	0,75900	0,92566
4,38	12,68843	1,77232	0,88646	1,05313
4,4	13,62382	1,78615	1,06848	1,23514
4,42	14,68359	1,80027	1,34965	1,51631
4,44	15,89507	1,81472	1,84135	2,00801
4,46	17,29431	1,82949	2,92167	3,08834
4,48	18,92973	1,84460	7,22439	7,39106
4,5	20,86799	1,86006	-14,58700	-14,42034
4,52	23,20349	1,87589	-3,58754	-3,42088
4,54	26,07439	1,89208	-2,03154	-1,86487

Продолжение таблицы 3

ν	$\varphi_5(\nu)$	$\varphi_6(\nu)$	$\varphi_7(\nu)$	$\varphi_8(\nu)$
4,56	29,69143	1,90866	-1,41016	-1,24350
4,58	34,39267	1,92564	-1,07579	-0,90913
4,6	40,75680	1,94304	-0,86687	-0,70021
4,62	49,86360	1,96087	-0,72395	-0,55728
4,64	63,98615	1,97914	-0,62000	-0,45333
4,66	88,86861	1,99787	-0,54099	-0,37432
4,68	144,44306	2,01708	-0,47890	-0,31223
4,7	379,34999	2,03678	-0,42881	-0,26215
3/2 π	-	2,04925	-0,40237	-0,23570
4,72	-620,14147	2,05701	-0,38755	-0,22089
4,74	-171,62696	2,07776	-0,35297	-0,18631
4,76	-99,90130	2,09908	-0,32357	-0,15690
4,78	-70,59077	2,12097	-0,29825	-0,13159
4,8	-54,64738	2,14346	-0,27623	-0,10956
4,82	-44,61792	2,16658	-0,25689	-0,09022
4,84	-37,72166	2,19035	-0,23977	-0,07310
4,86	-32,68489	2,21480	-0,22450	-0,05784
4,88	-28,84187	2,23996	-0,21081	-0,04414
4,9	-25,81072	2,26586	-0,19845	-0,03178
4,92	-23,35670	2,29253	-0,18724	-0,02057
4,94	-21,32759	2,32001	-0,17702	-0,01035
4,96	-19,62035	2,34833	-0,16767	-0,00100
4,98	-18,16273	2,37753	-0,15907	0,00759
5	-16,90258	2,40766	-0,15115	0,01552
5,02	-15,80130	2,43875	-0,14381	0,02285
5,04	-14,82973	2,47085	-0,13701	0,02966
5,06	-13,96542	2,50401	-0,13067	0,03600
5,08	-13,19079	2,53829	-0,12476	0,04191
5,1	-12,49189	2,57375	-0,11922	0,04745
5,12	-11,85751	2,61043	-0,11403	0,05264
5,14	-11,27854	2,64841	-0,10915	0,05752
5,16	-10,74749	2,68776	-0,10455	0,06211
5,18	-10,25815	2,72854	-0,10022	0,06645
5,2	-9,80534	2,77085	-0,09611	0,07055
5,22	-9,38467	2,81476	-0,09223	0,07444
5,24	-8,99243	2,86037	-0,08854	0,07813

Продолжение таблицы 3

ν	$\varphi_5(\nu)$	$\varphi_6(\nu)$	$\varphi_7(\nu)$	$\varphi_8(\nu)$
5,26	-8,62545	2,90777	-0,08504	0,08163
5,28	-8,28101	2,95708	-0,08170	0,08497
5,3	-7,95675	3,00841	-0,07852	0,08815
5,32	-7,65062	3,06189	-0,07548	0,09118
5,34	-7,36083	3,11765	-0,07258	0,09409
5,36	-7,08581	3,17583	-0,06980	0,09686
5,38	-6,82418	3,23662	-0,06714	0,09953
5,4	-6,57472	3,30016	-0,06458	0,10208
5,42	-6,33634	3,36667	-0,06213	0,10454
5,44	-6,10807	3,43635	-0,05977	0,10690
5,46	-5,88905	3,50944	-0,05749	0,10918
5,48	-5,67850	3,58617	-0,05530	0,11137
5,5	-5,47571	3,66685	-0,05318	0,11348
5,52	-5,28006	3,75177	-0,05114	0,11553
5,54	-5,09097	3,84127	-0,04916	0,11750
5,56	-4,90792	3,93575	-0,04725	0,11942
5,58	-4,73043	4,03561	-0,04540	0,12127
5,6	-4,55808	4,14135	-0,04360	0,12307
5,62	-4,39046	4,25347	-0,04185	0,12481
5,64	-4,22722	4,37259	-0,04016	0,12651
5,66	-4,06800	4,49938	-0,03851	0,12816
5,68	-3,91252	4,63459	-0,03690	0,12976
5,7	-3,76046	4,77910	-0,03534	0,13133
5,72	-3,61158	4,93389	-0,03382	0,13285
5,74	-3,46563	5,10010	-0,03233	0,13434
5,76	-3,32236	5,27905	-0,03088	0,13579
5,78	-3,18158	5,47224	-0,02946	0,13721
5,8	-3,04306	5,68144	-0,02807	0,13860
5,82	-2,90664	5,90874	-0,02670	0,13996
5,84	-2,77212	6,15658	-0,02537	0,14130
5,86	-2,63934	6,42787	-0,02406	0,14260
5,88	-2,50813	6,72611	-0,02278	0,14389
5,9	-2,37835	7,05550	-0,02152	0,14515
5,92	-2,24986	7,42120	-0,02028	0,14639
5,94	-2,12251	7,82956	-0,01906	0,14761
5,96	-1,99617	8,28849	-0,01785	0,14881

Окончание таблицы 3

ν	$\varphi_5(\nu)$	$\varphi_6(\nu)$	$\varphi_7(\nu)$	$\varphi_8(\nu)$
5,98	-1,87072	8,80801	-0,01667	0,15000
6	-1,74604	9,40095	-0,01550	0,15117
6,02	-1,62200	10,08404	-0,01434	0,15232
6,04	-1,49850	10,87953	-0,01320	0,15347
6,06	-1,37542	11,81764	-0,01207	0,15460
6,08	-1,25265	12,94048	-0,01095	0,15571
6,1	-1,13010	14,30855	-0,00985	0,15682
6,12	-1,00765	16,01203	-0,00875	0,15792
6,14	-0,88522	18,19146	-0,00766	0,15901
6,16	-0,76268	21,07866	-0,00657	0,16009
6,18	-0,63996	25,08518	-0,00550	0,16117
6,2	-0,51694	31,01838	-0,00443	0,16224
6,22	-0,39354	40,70778	-0,00336	0,16331
6,24	-0,26964	59,37211	-0,00229	0,16437
6,26	-0,14517	110,23714	-0,00123	0,16544
6,28	-0,02000	799,85070	-0,00017	0,16650
2π	0,00000	$+\infty$	0,00000	0,16667