#### МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Омский государственный технический университет»

А. М. Калашников

# ОСНОВЫ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В МАШИНОСТРОЕНИИ

Учебное текстовое электронное издание локального распространения

Рекомендовано редакционно-издательским советом Омского государственного технического университета

> Омск Издательство ОмГТУ 2022

Сведения об издании: <u>1</u>, <u>2</u>

© ОмГТУ, 2022 ISBN 978-5-8149-3485-7 Рецензенты:

#### *А. Е. Раханский*, к.т.н., старший научный сотрудник АО НТК «Криогенная техника»;

Д. Г. Новиков, к.т.н., главный эксперт направления перспективного развития АО «Омск РТС»

Калашников, А. М. Основы компьютерных технологий в машиностроении : практикум / А. М. Калашников ; Минобрнауки России, Ом. гос. техн. ун-т. – Омск : Изд-во ОмГТУ, 2022. – 1 CD-ROM (17,24 Мб). – Систем. требования: процессор с частотой 1,3 ГГц и выше ; 256 Мб RAM и более ; свободное место на жестком диске 300 Мб и более ; Windows XP и выше ; разрешение экрана 1024×768 и выше ; CD/DVD-ROM дисковод ; Adobe Acrobat Reader 5.0 и выше. – Загл. с титул. экрана. – ISBN 978-5-8149-3485-7.

В практикуме описаны лабораторные работы, направленные на изучение методов подготовки конструкторской документации и проведение анализа с применением САЕ- и САD-пакетов.

Предназначен для обучающихся по направлениям 18.03.02 «Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии», 20.05.01 «Пожарная безопасность», 20.03.01 «Техносферная безопасность», 15.03.02 «Технологические машины и оборудование» и 16.03.03 «Холодильная, криогенная техника и системы жизнеобеспечения».

> Редактор Т. А. Москвитина Компьютерная верстка Е. В. Макарениной

Для дизайна этикетки использованы материалы из открытых интернет-источников

Сводный темплан 2022 г. Подписано к использованию 01.07.22. Объем 17,24 Мб. © ОмГТУ, 2022

## введение

На сегодняшний день при разработке технологических систем и процессов все чаще используется методика инновационного проектирования. Это связано в первую очередь с тем, что идет рост функциональности CAD/CAE-инструментов, а также с их доступностью. Данные средства реализуют анализ изделия не через чертеж, а с помощью параметрической трехмерной модели, работу которой симулируют с помощью САЕ-пакета. По результатам анализа проводится оптимизация конструкции путем корректировки исходной САD-модели. Поэтому при отработке виртуальной модели первый же созданный рабочий образец будет работоспособен и надежен.

Цель данного практикума – помочь студентам приобрести навыки в подготовке чертежей, спецификаций, схем, а также в моделировании и численном исследовании с применением САЕ- и САD-пакетов таких программ, как КОМПАС и Ansys, при выполнении следующих лабораторных работ.

1. Создание и оформление сборочного чертежа и спецификации в программе КОМПАС-3D.

2. Создание и оформление технологической схемы в программе КОМПАС-3D.

3. Построение трехмерной модели в программе КОМПАС-3D.

4. Прочностной анализ в программе ANSYS.

5. Газодинамический анализ турбины в программе ANSYS.

## 1. ИЗУЧЕНИЕ КОМПАС-ЗД

**КОМПАС** – является программой автоматизированного проектирования, включающей две системы: **КОМПАС-График** и **КОМПАС-3D**. Связка этих систем позволяет реализовывать большинство задач машиностроения, таких как трехмерное моделирование агрегатов, разработка чертежей, проектирование кабельных систем и создание документов для инженерных проектов.

#### 1.1. КОМПАС-ГРАФИК

*КОМПАС-График* – это универсальная система автоматизированного проектирования, предназначенная для автоматизированного создания проектно-конструкторской документации на основе стандартов ЕСКД.

Программа имеет понятный и простой интерфейс, который способствует быстрому освоению функциональных возможностей для выполнения поставленной задачи. Для того чтобы первые шаги в системе были наиболее простыми и понятными, *КОМПАС-График* оснащен интерактивными уроками для изучения основных инструментов, которые собраны в «Азбуке КОМПАС-График». Рабочее окно *КОМПАС-График* представлено на рис. 1.1.

Приведем более развернутое описание основных элементов.

*Главное меню* (1) – содержит все основные меню системы. В каждом из них хранятся команды, сгруппированные по темам.

*Строка поиска команд* (2) – позволяет осуществлять поиск имеющихся команд.

*Строка закладок документов* (3) – отображает все открытые документы.

*Инструментальная область* (4) – в ней видимы команды, пиктограммы которых расположены на трех строках. Команды распределены по

4

панелям в соответствии с их назначением: Системная, Геометрия, Правка, Размеры и другие. Для компактности некоторые команды объединены в группы, и на панели представлена только одна команда группы. Рядом с пиктограммой команды группы изображен треугольник.

Панель управления (5) – предназначена для изменения параметров документа. Она включает в себя несколько панелей – по умолчанию Панель параметров и Панель дерева чертежа.

*Графическая область документа* (6) – демонстрирует текущий прогресс проекта.



Рис. 1.1. Рабочее окно КОМПАС-График:

*1* – главное меню; 2 – строка поиска команд;

3 – строка закладок документов;

4 – инструментальная область; 5 – панель управления;

6 – графическая область документа

#### Чертежи и спецификация

Общие требования к чертежам:

1. **Формат.** Графические работы выполняются на чертежных листах, форматы которых устанавливает ГОСТ 2.301 (A4, A3, A2, A1 и другие менее распространенные). Листы могут быть расположены вертикально или горизонтально (кроме листа A4, он всегда размещается горизонтально).

2. Виды. Чертёж обязательно содержит изображение изделия. Количество изображений (видов, разрезов, сечений) должно быть наименьшим, но обеспечивающим полное представление об изделии. Дополнительный вид на чертеже должен быть отмечен прописной буквой. Возле изображения, связанного с дополнительным видом, должна быть проставлена стрелка, указывающая направление взгляда. Над стрелкой и над полученным изображением следует нанести одну и ту же прописную букву. В случае выполнения разреза он должен быть отмечен надписью по типу «А-А» (всегда двумя буквами через тире).

3. Штриховка. При использовании разрезов или сечений на чертеже применяется штриховка. Для смежных сечений двух деталей следует применять встречную штриховку. Графическое обозначение материалов в сечениях в зависимости от вида материала подразумевает использование разной штриховки (ГОСТ 2.306).

4. *Размеры*. При выполнении чертежа детали необходимо указывать размеры всех элементов, выполняемых по данному чертежу. В случае работы со сборочным чертежом указывают габаритные и контактные размеры.

При нанесении размеров стоит придерживаться следующих правил:

 размерные линии предпочтительно наносить вне контура изображения;

 – размерные числа и предельные отклонения не допускается разделять или пересекать какими бы то ни было линиями чертежа. На месте нанесения размерного числа осевые, центровые и линии штриховки прерываются;

- необходимо избегать пересечения размерных и выносных линий;

6

 – размерные числа линейных размеров при различных наклонах размерных линий располагают всегда вдоль размерных линий;

 – размеры нескольких одинаковых элементов изделия наносят один раз с указанием на полке линии-выноски количества этих элементов;

 при недостатке места для стрелок на размерных линиях, расположенных цепочкой, стрелки допускается заменять насечками или четко наносимыми точками.

5. Отклонение – это алгебраическая разность между размером (действительным, предельным и т. д.) и соответствующим номинальным размером. Различают верхнее и нижнее предельные отклонения. Предельные отклонения размеров следует указывать непосредственно после номинальных размеров.

6. **Допуск** – это разность между наибольшим и наименьшим предельными размерами или абсолютная величина алгебраической разности между верхним и нижним отклонениями.

7. *Квалитет* (степень точности) – совокупность допусков, соответствующих одинаковой степени точности для всех номинальных размеров.

8. *Посадка* – характер соединения двух деталей, определяемый разностью их размеров до сборки. Посадку обозначают дробью, в числителе которой указывают обозначение поля допуска отверстия, а в знаменателе – обозначение поля допуска вала.

Примеры оформления допусков, посадок, квалитетов и отклонений представлены на рис. 1.2.





9. Шероховатость поверхности характеризуется величиной микронеровностей реальной поверхности (в мкм), определяющей ее отклонение от идеально гладкой поверхности. Качество поверхности оценивается по шести способам измерения предельного отклонения профиля (пример: Ra и Rz). В обозначении шероховатости поверхности применяют один из знаков: ✓ – без указания способа обработки; ✓ – со снятием материала; ✓ – без снятия материала.

При указании одинаковой шероховатости для всех поверхностей изделия обозначение шероховатости помещают в правом верхнем углу чертежа и на изображении не наносят.

10. *Техническая характеристика* содержит в себе основные характеристики изделия: мощность; число оборотов; коэффициент полезного действия и другие параметры, характеризующие изделие.

11. *Технические требования* размещают над основной надписью (или штампом). Технические требования содержат в себе следующую информацию: характеристики изделия; требования к качеству поверхностей; требования, предъявляемые к настройке и регулированию изделия, и т. д. В случае если на чертеже техническая характеристика не указана, то заголовок технических требований не указывается.

12. Штамп содержит информацию о самом документе; об изделии; об организации, выпустившей документ; о характере работы лиц, ответственных за выпуск документа, и т. п. Эти сведения вписываются в соответствующие графы.

Сборочные чертежи зачастую сопровождаются спецификацией, создание которой можно выполнить в программном продукте *КОМПАС*. *Спецификация* – это конструкторский документ, определяющий состав сборочной единицы, комплекса или комплекта и являющийся обязательным основным документом для всех изделий, кроме деталей.

#### Схемы

Помимо чертежей *КОМПАС-График* позволяет создавать различные виды схем: технологические, электрические, пневматические и т. д. *Схема* 

8

 – это документ, на котором показаны в виде условных изображений или обозначений составные части изделия и связи между ними.

Условные графические обозначения (УГО) элементов, устройств, функциональных групп и соединяющие их линии взаимосвязи следует располагать на схеме таким образом, чтобы обеспечивать наилучшее представление о структуре изделия и взаимодействии его составных частей.

При выполнении схем применяют следующие графические обозначения:

– УГО, установленные в стандартах Единой системы конструкторской документации, а также построенные на их основе;

– прямоугольники;

– упрощенные внешние очертания (в том числе аксонометрические).

При необходимости могут быть использованы нестандартизованные УГО.

УГО, для которых установлено несколько допустимых вариантов выполнения, различающихся геометрической формой или степенью детализации, следует применять исходя из вида и типа разрабатываемой схемы в зависимости от информации, которую необходимо передать на схеме графическими средствами;

Линии взаимосвязи выполняют толщиной от 0,2 до 1,0 мм в зависимости от форматов схемы и размеров УГО. Рекомендуемая толщина линий – от 0,3 до 0,4 мм;

УГО на схемах следует выполнять линиями той же толщины, что и линии взаимосвязи.

Все размеры УГО допускается пропорционально изменять. На рис. 1.3 приведен ряд стандартных элементов с рекомендованными к ним размерами при выполнении лабораторной работы № 2.

На схемах допускается помещать различные технические данные, характер которых определяется назначением схемы. Такие сведения указывают либо около УГО (по возможности справа или сверху), либо на свободном поле схемы.

9



Рис. 1.3. Размеры стандартных элементов

Над основной надписью допускается помещать необходимые технические указания.

При выполнении чертежей и схем студенту могут быть полезны следующие ГОСТы системы ЕСКД:

1) ГОСТ 2.301-68. Форматы:

2) ГОСТ 2.302-68. Масштабы;

3) ГОСТ 2.305-2008. Изображения – виды, разрезы, сечения;

4) ГОСТ 2.303-68. Линии;

5) ГОСТ 2.304-81. Шрифты чертежные;

6) ГОСТ 2.307-2011. Нанесение размеров и предельных отклонений;

7) ГОСТ 2.309-73. Обозначения шероховатости поверхностей;

8) ГОСТ 25346-89. Основные нормы взаимозаменяемости. Единая система допусков и посадок. Общие положения, ряды допусков и основных отклонений;

9) ГОСТ 2.310-68. Нанесение на чертежах обозначений покрытий, термической и других видов обработки;

10) ГОСТ 2.316-2008. Правила нанесения надписей, технических требований и таблиц на графических документах;

11) ГОСТ 2.701-2008. Схемы. Виды и типы. Общие требования к выполнению.

# Лабораторная работа № 1 СОЗДАНИЕ И ОФОРМЛЕНИЕ СБОРОЧНОГО ЧЕРТЕЖА И СПЕЦИФИКАЦИИ В ПРОГРАММЕ КОМПАС-3D

Цель работы: приобретение и закрепление студентами навыков использования *КОМПАС-ЗD* при построении и оформлении сборочного чертежа, чертежа детали № 1 и спецификации выданной трехмерной модели сборочной единицы.

Описание работы: используя выданную модель сборочной единицы (табл. 1.1), необходимо построить и оформить в соответствии с нормативными требованиями сборочный чертеж, чертеж детали № 1 и спецификацию.

Таблица 1.1

| Вариант | Номер<br>схемы | Вариант | Номер<br>схемы | Вариант | Номер<br>схемы |
|---------|----------------|---------|----------------|---------|----------------|
| 1       | 1              | 11      | 11             | 21      | 6              |
| 2       | 2              | 12      | 12             | 22      | 7              |
| 3       | 3 13 13        |         | 23             | 8       |                |
| 4       | 4 14 14        |         | 24             | 9       |                |
| 5       | 5              | 15 15   |                | 25      | 10             |
| 6       | 6              | 16      | 1              | 26      | 11             |
| 7       | 7              | 17      | 2              | 27      | 12             |
| 8       | 8              | 18      | 3              | 28      | 13             |
| 9       | 9              | 19      | 4              | 29      | 14             |
| 10      | 10             | 20      | 5              | 30      | 15             |

Исходные данные

#### Порядок выполнения лабораторной работы

#### Построение чертежа модели сборочной единицы

1. Настраиваем формат листа (рис. 1.4). Для этого в Дереве чертежа раскрываем раздел Листы (1), нажимаем правой кнопкой мыши (ПКМ) на Чертеж констр. (2) и выбираем Формат (3). После этого выбираем формат листа A3 (4) и ориентацию Горизонтальную (5), после чего нажимаем Применить (6).

*Примечание:* формат и расположение листа подбираются под каждую деталь индивидуально.



а

| Формат | листа  |  |         | $\times$ |
|--------|--|--|---------|----------|
| 4      | <ul> <li>Стандартный</li> <li>Обозначение</li> <li>АЗ</li> <li>Кратность</li> <li>1</li> </ul> | Ориентация                             | 5       |          |
|        | О По <u>л</u> ьзовательс<br>Ширина, мм<br>6  | <b>кий</b><br>210.0 <u>В</u> ысота, мм | 297.0   |          |
|        | ОК   | Отмена                                 | Справка |          |
|        |  | б                                      |         |          |

Рис. 1.4. Изменение формата листа

2. Добавляем основной вид модели (рис. 1.5). Для этого нажимаем кнопку **Bud с модели...** (1) на панели инструментов, выбираем модель сборочной единицы (2) и нажимаем **Открыть** (3). После этого в окне параметров выбираем ориентацию модели **Слева** (4), масштаб **1:1** (5) и располагаем изображение модели в верхнем левом углу (6) нажатием левой кнопки мыши (ЛКМ) в нужную область.

*Примечание:* масштаб и ориентация модели подбираются под каждую деталь индивидуально.



| 國 Выберите файл ,              | для открытия        |                     |                   |                                    | ×                           |
|--------------------------------|---------------------|---------------------|-------------------|------------------------------------|-----------------------------|
| Nan <u>k</u> a:                | Лабораторна         | ия 1                |                   | թ                                  |                             |
| Быстрый доступ<br>Рабочий стол | 1 - Поршень.т       | Сольцо.m3d          | а - Кольцо.m3d    | Сборка<br>поршня.азd               |                             |
| <b>ГП</b><br>Библиотеки        |                     |                     |                   | 2                                  | Сборка поршня.a3d           |
|                                |                     |                     |                   |                                    |                             |
| Этот компьютер                 |                     |                     |                   |                                    | В <u>ы</u> ключить просмотр |
| ۴                              |                     |                     |                   |                                    |                             |
| Сеть                           |                     |                     |                   | 2                                  |                             |
|                                | 14 + S              |                     |                   | 5                                  |                             |
|                                | <u>и</u> мя файла:  | Сборка поршня.a3d   |                   | <ul> <li><u>О</u>ткрыть</li> </ul> |                             |
|                                | <u>Т</u> ип файлов: | КОМПАС-Модели (*.а3 | 3d, *.t3d, *.m3d) | <ul> <li>Отмена</li> </ul>         |                             |
|                                |                     |                     |                   |                                    |                             |

б

Рис. 1.5. Добавление основного вида (начало)



Рис. 1.5. Добавление основного вида (окончание)

3. Добавляем осевые линии (рис. 1.6). Для этого нажимаем на кнопку *Автоосевая* (1) и выбираем нужную окружность (2), после чего размещаем осевые линии.



Рис. 1.6. Создание осевых линий

4. Добавляем сечение сборочной модели (рис. 1.7). Для этого нажимаем на кнопку *Линия разреза/сечения* (1), устанавливаем линию разреза (2) и смещаем вид в сторону (3).



Рис. 1.7. Создание вида в разрезе

5. С помощью команды *Автоосевая* достраиваем необходимые осевые линии (рис. 1.8).



Рис. 1.8. Создание осевых линий

6. Возвращаемся к первому виду и с помощью операций *Отрезок* (1), *Окружность* (2) и *Копия по окружности* (3) достраиваем необходимые осевые линии (рис. 1.9).



Рис. 1.9. Создание осевых линий

7. Проставляем позиционные линии – выноски. Для этого нажимаем кнопку *Обозначение позиций* (1) и указываем точку, на которую указывает выноска. После чего указываем точку начала полки (2). Очередной номер позиции присваивается автоматически. Построение объекта заканчивается щелчком на галочку (3) (рис. 1.10).



Рис. 1.10. Указание позиций

8. С помощью операции *Авторазмер* (1) проставляем габаритные и соединительные размеры на созданных видах (рис. 1.11, *a*). Чтобы добавить допуски, дважды нажимаем ЛКМ на необходимый размер и выполняем следующие операции (рис. 1.11, *б*):

– нажимаем на кнопку настройки допусков (2);

– включаем допуски (3);

– делаем видимыми класс допуска и отклонение (4);

- заходим в библиотеку допусков (5);

– выбираем тип поверхности: вал или отверстие (6);

– выбираем необходимый класс допуска (7);

– при необходимости добавляем знаки: диаметр, квадрат, радиус, метрическая резьба и т. д. (8);

– чтобы применить изменения, нажимаем галочку (9).

*Примечание:* размер шрифта рекомендуется использовать 3,5 или 5 мм.



б

Рис. 1.11. Указание размеров и допусков

9. Для того чтобы добавить технические требования, переходим в раздел *Оформление* (1) – *Технические требования* (2) – *Задать/изменить* (3) (рис. 1.12). После чего вводим необходимый текст и применяем изменения (4). Для того чтобы изменить расположение текста на листе, необходимо нажать на него ПКМ и выбрать *Разместить*.



Рис. 1.12. Добавление технических требований

10. Заполняем штамп чертежа. Для этого нажмем на него дважды ЛКМ и введем необходимые данные (рис. 1.13):

– шифр, который должен содержать следующую информацию: группа
 (ПБ-211), вариант (05), номер лабораторной работы (01), номер детали
 (01.00.000) и тип чертежа (СБ – сборочный чертеж);

– ФИО студента и преподавателя;

- название детали и вид чертежа;

– данные о группе и вузе.

| _         |                |       |      |                  |              |         |         |
|-----------|----------------|-------|------|------------------|--------------|---------|---------|
|           |                |       |      | TMD-191-05-01.U  | 00.00        | 10 СБ   |         |
|           |                |       |      |                  | Лит.         | Масса   | Масштаб |
| Изм. Лист | № дакум.       | Падп. | Дата | Поршень          |              |         |         |
| Разраб.   | Ражкав И.И.    |       |      |                  |              | 1,65    | 1:1     |
| Прав.     | Калашников АМ. |       |      | Соорочный чертеж |              |         | ·       |
| Т.контр.  |                |       |      |                  | Лист         | Лист    | 0Ô      |
|           |                |       |      |                  | <b>T</b> 140 | 101     |         |
| Н.контр.  |                |       |      |                  | :IMU-        | -191. L | IMI 19  |
| Утв.      |                |       |      |                  |              |         |         |

Рис. 1.13. Заполнение штампа

11. Сохраняем чертеж в формате JPEG. Для этого переходим **Файл** – **Сохранить как...** – **Тип файла** – **JPEG** (\*.**jpg**), задаем место сохранения, имя файла и нажимаем Сохранить. В появившемся окне выбираем Разрешение, равное **150** точкам на дюйм, и ставим галочку напротив **Оттенки серого** (рис. 1.14). Пример готового сборочного чертежа представлен на рис. 1.15.

*Примечание:* если есть необходимость изменить толщину всех линий, то можно изменить *Масштаб* листа.

| Настройка записи в формат JPG                 | ×       |
|---|---------|
| Параметры документа<br>Размер, мм 420.0 x 297 | .0      |
| Настройка<br>Цвет                             |         |
| установленный для вида                        | ~       |
| Все линии то <u>н</u> кие                     |         |
| Мас <u>ш</u> таб 1.000                        |         |
| Параметры растра                              |         |
| Цветность 24 разряда                          | a ~     |
| Разрешение, точек на дюйм 150                 | ~       |
| Оттенки серого                                |         |
| Размер изображения 2486 x 1759                | ) точек |
| ОК Отмена                                     | Справка |

Рис. 1.14. Настройка изображения



Рис. 1.15. Сборочный чертеж поршня

12. Сохраняем проект сборочного чертежа в персональную папку.

## Построение чертежа детали № 1

1. Повторяем пункты 1-6 из раздела по созданию сборочного чертежа для детали под № 1. Пример полученного результата представлен на рис. 1.16.



Рис. 1.16. Результат пунктов 1-6

2. Создаем выносной вид (рис. 1.17). Для этого нажимаем на кнопку **Выносной элемен**т (1), выбираем выносимую область (2), убираем галочку напротив пункта *Автосортировка* (3), вписываем свое значение (4) и обозначаем границы выносного элемента. После этого выставляем масштаб 2:1 (5) и убираем выносимый вид вниз (5), зафиксировав положение, нажатием ЛКМ в нужную точку.

Примечание: масштаб подбирается с учетом габаритов детали.



Рис. 1.17. Создание выносного элемента

3. При необходимости изменяем шаг штриховки сечений (рис. 1.18). Для этого выделяем необходимые области (1) и в разделе параметров выбираем значение 3 (2).



Рис. 1.18. Изменение шага штриховки

4. Указываем все линейные размеры и проставляем допуски, как делали это в п. 8 сборочного чертежа. Рекомендованный размер шрифта для данной работы – 3,5 или 5 мм. Пример готового чертежа представлен на рис. 1.19.



Рис. 1.19. Указанные размеры и допуски

5. Указываем шероховатости (рис. 1.20).

5.1. Указываем неуказанные шероховатости (рис. 1.20, *a*). Для этого выбираем *Оформление* (1) – *Неуказанная шероховатость* (2) – *За- дать/изменить* (3). После этого слева откроется меню, в котором необходимо выбрать следующие настройки:

– включаем *Авторазмещение* (4), чтобы ограничить перемещение неуказанной шероховатости;

– устанавливаем необходимый *Способ обработки* (5): не устанавливается, с удалением слоя материала или без удаления слоя материала;

– вводим необходимое значение шероховатости (6);

– ставим галочку напротив ячейки Добавить знак в скобках (7) для того, чтобы показать, что неуказанная шероховатость действительна только для тех поверхностей, у которых не обозначена шероховатость на самом чертеже.

После этого нажимаем на галочку (8) и в правом верхнем углу появится обозначение неуказанной шероховатости (9).

5.2. Указываем шероховатости на чертеже (рис. 1.20, б). Для этого нажимаем на кнопку *Шероховатость* (10) и выбираем следующие настройки:

– устанавливаем необходимый *Способ обработки* (11): не устанавливается, с удалением слоя материала или без удаления слоя материала;

– вводим необходимое значение шероховатости (6).

*Примечание:* при необходимости указывается направление неровностей: *С* – кругообразное, *R* – радиальное, *M* – произвольное и т. д.;

– при необходимости ставим галочку напротив *Обработка по контуру* (13);

 при необходимости включаем Выноску (14) для того, чтобы сдвинуть обозначение шероховатости.

После этого шероховатость можно разместить на чертеже (15).





Рис. 1.20. Указанные шероховатости

6. Указываем базу и допуск формы (рис. 1.21).

6.1. Для указания базы нажимаем кнопку *База* (1) и устанавливаем её на чертеже (2). При необходимости буквенное значение может быть изменено.

6.2. Для указания допуска формы нажимаем кнопку *Допуск формы* (3) и вводим необходимые значения (4). Для того чтобы изменить знак биения, нажимаем на иконку *Спецзнак* (5) и выбираем необходимое значение в открывшемся окне (6).



Рис. 1.21. Указанные базы и допуск формы

7. Указываем технические требования и заполняем штамп, как это выполнялось в пп. 9 и 10 сборочного чертежа (рис. 1.22).



Рис. 1.22. Заполнение технических требований и штампа

8. Сохраняем чертеж, как это делали в п. 11 сборочного чертежа. Отличительной чертой чертежа детали является то, что у него указывается материал детали и не указывается тип чертежа (СБ). Пример готового чертежа представлен на рис. 1.23.



Рис. 1.23. Готовый чертеж

9. Сохраняем проект сборочного чертежа в персональную папку.

#### Порядок выполнения спецификации

1. Начинаем формирование спецификации с создания среды. Выполняем последовательно команды **Файл – Создать** и нажимаем кнопку на панели управления **Спецификация**, после чего на экране появится новый лист по умолчанию формата A4.

2. Создаем раздел «Документация» (рис. 1.24). Для этого нажимаем кнопку *Добавить раздел* (1) и выбираем соответствующий раздел *Документация* (2) в появившемся окне, после чего нажимаем *Создать* (3) и вводим необходимые данные (4).



Рис. 1.24. Раздел «Документация»

3. Создаем аналогичным образом разделы «Детали» и «Стандартные изделия» и заполняем необходимые поля (рис. 1.25). Для того чтобы добавить новые поля в пределах одного раздела, необходимо нажать на кнопку *Добавить базовый объект* (1), а для того чтобы удалить лишний базовый объект, необходимо нажать на кнопку *Правка* (2) и выбрать *Удалить объект*.

*Примечания:* 1) помимо этих разделов могут быть использованы и другие, в зависимости от рассматриваемой конструкции;

2) если для детали не делался чертеж, то в столбце «Формат» пишется «БЧ» – без чертежа. Для стандартных изделий формат указывать не нужно, так как для них чертежи не делаются.

| Файл Правка 🤈 Вставка Управление Н                                | астро      | ойка | Пр    | иложен       | ия С   | кно С       | правк | ca   |                              |               |            |            |               |           |     |                                 |
|---|------------|------|-------|--------------|--------|-------------|-------|------|------------------------------|---------------|------------|------------|---------------|-----------|-----|---------------------------------|
| 🗎 Спецификация БЕЗ И 🗴 💽 2 - Кольцо.m3d                           |            |      | D     | , Сборк      | а порі | иня.a3d     | I     | 9    | ИвановИИ_Л                   | ЛР01.cdw      | E          | 🗐 C6opou   | ный чертеж    |           |     |                                 |
|   | ₽ 4<br>цел |      | Ð (   | <b>₿ }</b>   | правле | ын 🗹<br>ние | Σ     | 1    | Страница:<br><sub>Нави</sub> | 1 і<br>игация | из 1 I     | Масштаб:   | 100 % 🔹       | Ð         | 1   | Отображать<br>оформление<br>вид |
| аметры Дерево спецификации 🔅<br>ификация                          | формат     | Зана | //03. |              |        | ටර්තය       | BHQH  | ehl  | e                            |               | H          | алтен      | ование        |           | Кол | Приме-<br>чание                 |
| ∧ Информация<br>Тип: Пустая строка<br>Раздел: Стандартные изделия |            |      |       |              |        |             |       |      |                              |               | <u>_</u>   | окуме      | <u>НМАЦИЯ</u> |           |     |                                 |
|   | ß          |      |       | <i>16-</i> 2 | 212-   | -06-1       | 01.0  | 0.00 | Ю (Б                         | (80)          | 004        | ный че     | ертеж         |           |     |                                 |
|   |            |      |       |              |        |             |       |      |                              |               |            |            |               |           |     |                                 |
|   |            |      |       |              |        |             |       |      |                              | _             |            | <u>Дет</u> | ดดกม          |           |     |                                 |
|   | ß          |      | 1     | <i>16</i> -2 | 212-   | -06-1       | 01.0  | 0.00 | 71                           | Пор           | Wef        | Њ          |               |           | 1   |                                 |
|   |            |      |       |              |        |             |       |      |                              |               | חחח        | วิลกสม     | นอ แลสิดภเ    | 19        |     |                                 |
|   |            |      |       |              |        |             |       |      |                              | <u></u>       |            | חחוקבים    | DIE UJUE/IL   | <u>//</u> |     |                                 |
|   |            |      | 2     |              |        |             |       |      |                              | Коль          | <i>,40</i> | M102x5     | FOCT 951      | 5-81      | 1   |                                 |
|   |            |      | 3     |              |        |             |       |      |                              | Коль          | 40.        | 9102x18    | 3 FOLT 951    | 5-81      | 1   |                                 |

Рис. 1.25. Разделы «Детали» и «Стандартные изделия»

4. Настраиваем штамп, для этого нажимаем на кнопку Отобразить оформление (1) (рис. 1.26, a) и заполняем необходимые поля (рис. 1.26,  $\delta$ ).



-

Рис. 1.26. Заполнение штампа

5. Сохраняем спецификацию, как это делали в п. 11 сборочного чертежа. Пример готовой спецификации представлен на рис. 1.27.

|             | форнат            | Зана                        | <i>F03</i>  | Обозначение            | Наименование                | Kan           | Приме-<br>чание               |
|-------------|-------------------|-----------------------------|-------------|------------------------|-----------------------------|---------------|-------------------------------|
| наштоци д   |                   |                             |             |                        | <u>Документация</u>         |               |                               |
| day         | АЗ                |                             |             | ТБ-212-06-01.00.000 СБ | Сборочный чертеж            |               |                               |
|             |                   |                             |             |                        |                             |               |                               |
| V DOD V~    | АЗ                |                             | 1           | T5-212-06-01.00.001    | Поршень                     | 1             |                               |
|             |                   |                             |             |                        |                             |               |                               |
| _           |                   |                             | 2           |                        | Кольцо M102x5 ГОСТ 9515-81  | 1             |                               |
| 0,010       | $\vdash$          | +                           | 3           |                        | Кольцо У102x18 ГОСТ 9515-81 | 1             |                               |
| n upqi i    |                   |                             |             |                        |                             |               |                               |
| an.         | $\mathbb{H}$      | _                           |             |                        |                             |               |                               |
| N THU       | Ħ                 |                             |             |                        |                             |               |                               |
| CHD N       |                   |                             |             |                        |                             |               |                               |
| HDE:0       | ╞                 | _                           |             |                        |                             |               |                               |
| ממשם        | F                 |                             |             |                        |                             |               |                               |
| ווממי ני    | 1/2×              | 1/201                       |             |                        |                             | 00            |                               |
| עורע N~ DDD | Раз<br>Про<br>Нка | раа<br>2010<br>2010<br>2010 | и<br>И<br>И | Carlo AB.              | Торшень Омгт                | лист<br>ГУ, Т | <u>л.сто</u> б<br>1<br>15-212 |

Рис. 1.27. Готовый чертеж

6. Сохраняем проект сборочного чертежа в персональную папку.

#### Содержание отчета

1. Титульный лист.

2. Цель работы.

3. Описание работы (с исходной схемой и таблицей для своего варианта).

4. Этапы построения.

5. Результаты работы (готовый сборочный чертеж, чертеж детали № 1 и спецификация на отдельных листах).

6. Вывод.

#### Контрольные вопросы

1. Как изменить формат листа?

2. Для чего используется операция «Выносной элемент»?

3. Для чего нужны «Технические требования» и как их добавить на чертеж в КОМПАС-3D?

4. Что такое допуски и квалитеты? Как они обозначаются на чертеже?

5. Что такое шероховатость и для чего она обозначается? При обозначении шероховатости что означают Ra, Rz и какие варианты еще существуют? Как обозначается шероховатость с удалением и без удаления слоя материала? При добавлении шероховатости как указывается условное обозначение «направление неровностей»?

6. Что такое допуск формы и как он обозначается на чертеже?

7. Основные этапы выполнения работы.

31

#### Лабораторная работа № 2

## СОЗДАНИЕ И ОФОРМЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ В ПРОГРАММЕ КОМПАС-3D

Цель работы: приобретение и закрепление студентами навыков использования *КОМПАС-3D* при построении схемы технологической установки и её оформление.

Описание работы: используя рисунок в Приложении А, согласно своему варианту (табл. 1.2), необходимо в *КОМПАС-3D* повторить схему технологической установки и выполнить её оформление.

Таблица 1.2

| Вариант | Номер<br>схемы | Вариант | Номер<br>схемы | Вариант | Номер<br>схемы |
|---------|----------------|---------|----------------|---------|----------------|
| 1       | 1              | 11      | 1              | 21      | 1              |
| 2       | 2              | 12      | 2              | 22      | 2              |
| 3       | 3              | 13      | 3              | 23      | 3              |
| 4       | 4              | 14      | 4              | 24      | 4              |
| 5       | 5              | 15      | 5              | 25      | 5              |
| 6       | 6              | 16      | 6              | 26      | 6              |
| 7       | 7              | 17      | 7              | 27      | 7              |
| 8       | 8              | 18      | 8              | 28      | 8              |
| 9       | 9              | 19      | 9              | 29      | 9              |
| 10      | 10             | 20      | 10             | 30      | 10             |

#### Исходные данные

#### Порядок выполнения лабораторной работы

1. Настраиваем формат листа. Для этого в *Дереве чертежа* раскрываем раздел *Листы* (1), нажимаем правой кнопкой мыши (ПКМ) на *Чертеж констр.* (2) и выбираем *Формат* (3) (рис. 1.28, *a*). После этого выбираем формат листа *АЗ* (4) и ориентацию *Горизонтальную* (5), после чего нажимаем *Применить* (6) (рис. 1.28, *б*).

| ł. | е се чертеж в          | DES VI | IVIEF         | 11/11 | <ul> <li>Поршень.msd</li> </ul> | 3  |   |             |     |        |
|----|------------------------|--------|---------------|-------|---------------------------------|----|---|-------------|-----|--------|
| ]  | Черчение               | D      |               | B     | 📆 Автолиния                     | 0  | Окружность  | Фаска       |     | 7      |
|    | Управление             | Ð      | ð             | B     | <b>Д</b> Прямоугольник          | େ  | ⁰_Дуга  | Скругление  |     | Ð      |
| •  | Стандартные<br>изделия | \$     | $\Rightarrow$ |       | Отрезок                         | هر | <ul> <li>Вспомогатель</li> <li>дпрямая</li> </ul> | 🖏 Штриховка |     | e<br>C |
|    | ×                      | Сис    | темна         | ая 🗄  |                                 |    | Геометрия   |             | • 8 |        |
|    | Дерево чертежа         |        |               |       |                                 | Ф  |   |             |     |        |
|    | 🗔 🔖 🖛 🖑                | 7 🔽    | t.            | Ì     |                                 |    |   |             |     |        |
|    | 0 Системный            | вид    | •             | · (   | Системный слой                  | •  |   |             |     |        |
| -  | 🝸 🔎 Поиск (            | (Ctrl+ | /)            |       |                                 |    |   |             |     |        |
|    |                        |        |               | 톅     | Чертеж                          |    |   |             |     |        |
| 2  |                        | 1      |               |       | Листы 2                         |    |   |             |     |        |
|    | A4 ×1 1 1              |        |               |       | 🛛 Чертеж констр. Пер            |    |   |             |     |        |
|    |                        | ,      |               |       | • C                             |    | Показать лист                                     |             |     |        |
|    |                        |        |               | ▶ 4,  | • Системный вид (1              |    | Формат  | 3           |     |        |
|    |                        |        |               |       |                                 |    | Оформление  |             |     |        |
|    |                        |        |               |       |                                 |    | Удалить   |             |     |        |
|    |                        |        |               |       |                                 |    | ,   |             |     |        |
| 1  |                        |        |               |       |                                 |    |   |             |     |        |

| Формат | г листа   |                             |         | $\times$ |
|--------|---|-----------------------------|---------|----------|
| 4      | О Стандартный<br>Обозначение<br>АЗ<br>Кратность<br>1<br>С<br>С<br>С<br>С<br>С<br>С<br>С<br>С<br>С<br>С<br>С<br>С<br>С<br>С<br>С<br>С<br>С<br>андартный<br>С<br>С<br>бозначение<br>С<br>С<br>бозначение<br>С<br>бозначение<br>С<br>бозначение<br>С<br>бозначение<br>С<br>бозначение<br>С<br>бозначение<br>С<br>бозначение<br>С<br>бозначение<br>С<br>бозначение<br>С<br>бозначение<br>С<br>бозначение<br>С<br>бозначение<br>С<br>бозначение<br>С<br>бозначение<br>С<br>бозначение<br>С<br>бозначение<br>С<br>бозначение<br>С<br>бозначение<br>С<br>бозначение<br>С<br>бозначение<br>С<br>бозначение<br>С<br>бозна<br>С<br>бозна<br>С<br>бозна<br>С<br>бозна<br>С<br>бозна<br>С<br>бозна<br>С<br>бозна<br>С<br>бозна<br>С<br>бозна<br>С<br>бозна<br>С<br>бозна<br>С<br>бозна<br>С<br>бозна<br>С<br>бозна<br>С<br>бозна<br>С<br>бозна<br>С<br>бозна<br>С<br>бозна<br>С<br>бозна<br>С<br>бозна<br>С<br>бозна<br>С<br>бозна<br>С<br>бозна<br>С<br>бозна<br>С<br>бозна<br>С<br>бозна<br>С<br>бозна<br>С<br>бозна<br>С<br>боз<br>С<br>бозна<br>С<br>бозо<br>С<br>бозо<br>С<br>бозо<br>С<br>бозо<br>С<br>бозо<br>С<br>бозо<br>С<br>бозо<br>С<br>бозо<br>С<br>бозо<br>С<br>бозо<br>С<br>бозо<br>С<br>бозо<br>С<br>бозо<br>С<br>бозо<br>С<br>бозо<br>С<br>бозо<br>С<br>бозо<br>С<br>бозо<br>С<br>бозо<br>С<br>бозо<br>С<br>бозо<br>С<br>бозо<br>С<br>бозо<br>С<br>бозо<br>С<br>бозо<br>С<br>бозо<br>С<br>бозо<br>С<br>бозо<br>С<br>С<br>С<br>бозо<br>С<br>С<br>С<br>С<br>С<br>С<br>С<br>С<br>С<br>С<br>С<br>С<br>С<br>С<br>С<br>С<br>С<br>С | Ориентация                  | 5       |          |
|        | О По <u>л</u> ьзовательс<br>Ширина, мм<br>Ок  | <b>хий</b> 210.0 Высота, мм | 297.0   |          |
|        | UK  |                             | Стравка |          |

б

Рис. 1.28. Изменение формата листа

2. Добавляем вспомогательные прямые для ограничения габаритов технологической схемы. Для этого на панели инструментов нажимаем на копку *Вспомогательная прямая* (1) и нажатием на ЛКМ по рабочему полю указываем габариты схемы (рис. 1.29).



Рис. 1.29. Вспомогательные прямые

3. Используя стандартные инструменты, размещаем основные элементы схемы, такие как колонна, печь, реактор, сепаратор, насос и т. д., на схеме (рис. 1.30).

*Примечание:* одинаковые элементы схемы должны иметь аналогичные размеры.



Рис. 1.30. Добавление основных элементов

4. С помощью операции *Отрезок* добавляем линии потоков и стрелками (при необходимости внутри стрелки используется *Заливка*) обозначаем их направление (рис. 1.31). В точке пересечения потоков добавляется дуга (для этого можно использовать операцию *Дуга* или *Окружность*, у которой с помощью операции *Усечь кривую* удаляется половина).



Рис. 1.31. Добавление потоков

5. С помощью инструмента *Марка/позиционное обозначение с линией выноски* (1) добавляем позиции элементов схемы, а с помощью инструмента *Надпись* (2) – подписи на схеме (рис. 1.32). Рекомендуемый размер шрифта при выполнении данной работы – 3,5 мм.



Рис. 1.32. Добавление позиций и подписей

6. С помощью инструмента *Таблица* (1) добавляем экспликацию в нижнем правом углу схемы (2) (рис. 1.33). При настройке экспликации указываем число столбцов и строк (3), ширину и высоту ячеек (4), после чего нажимаем *Создать* (5). Размер шрифта – 3,5 мм, выравнивание – по центру.

*Примечание:* позже можно будет изменить ширину ячеек до нужного размера, удерживая их поля.


Рис. 1.33. Добавление экспликации

7. В нижнем левом углу добавляется расшифровка обозначения основного оборудования (рис. 1.34).

*Примечание:* при работе со схемами, как правило, используется один из способов обозначения – графический или в виде экспликации, но в рамках освоения дисциплины продемонстрированы оба.



Рис. 1.34. Добавление обозначения элементов

8. Заполняем штамп чертежа. Для этого нажимаем на него дважды ЛКМ и вводим необходимые данные (рис. 1.35):

– шифр, который должен содержать следующую информацию: группа (ПБ-211), вариант (05), номер лабораторной работы (02), номер детали (01.00.000) и тип чертежа (C2 – схема технологическая функциональная);

– ФИО студента и преподавателя;

– название схемы и её тип;

– данные о группе и вузе.



Рис. 1.35. Заполнение штампа

9. Сохраняем чертеж в формате JPEG. Для этого переходим **Файл** – *Сохранить как...* – *Тип файла* – *JPEG* (\*.*jpg*), задаем место сохранения, имя файла и нажимаем *Сохранить*. В появившемся окне выбираем Разрешение, равное **150** точкам на дюйм, и ставим галочку напротив *Оттенки серого* (рис. 1.36). Пример готового сборочного чертежа представлен на рис. 1.37.

| астроика записи в формат ле | i              |
|-----------------------------|----------------|
| Параметры документа         |                |
| Размер, мм                  | 420.0 x 297.0  |
| Настройка                   |                |
| Цвет                        |                |
| установленный для вида      | ~              |
| Все линии тонкие            |                |
|                             |                |
| Масштаб 1.000               |                |
| Параметры растра            |                |
| Цв <u>е</u> тность          | 24 разряда 🗸 🗸 |
|                             | 150            |
| Разрешение, точек на дюим   |                |
| Разрешение, точек на дюим   |                |

Рис. 1.36. Настройка изображения



Рис. 1.37. Сборочный чертеж поршня

10. Сохраняем проект сборочного чертежа в персональную папку.

# Содержание отчета

- 1. Титульный лист.
- 2. Цель работы.
- 3. Описание работы (с исходной схемой и таблицей для своего варианта).
- 4. Этапы построения.
- 5. Результаты работы (готовый чертеж на отдельном листе).
- 6. Вывод.

## Контрольные вопросы

- 1. Как изменить формат листа?
- 2. Для чего используется операция «Экспликация оборудования»?
- 3. Как на технологической схеме обозначается центробежный насос?
- 4. Как на технологической схеме обозначается теплообменник?
- 5. Как на технологической схеме обозначается пересечение потоков?

# **1.2. КОМПАС-3D**

*КОМПАС-3D* – это система, позволяющая проектировать трехмерные модели для машиностроения и строительства. В *КОМПАС-3D* реализованы возможности, позволяющие скрывать или исключать из расчета деталь сборочной единицы, выполнять её индивидуальное редактирование или разрез любой сложности. Трехмерные модели и плоские чертежи ассоциированы между собой, поэтому редактирование элемента модели повлечет за собой изменение в созданных по данной модели чертеже и сборке.

Трехмерные модели могут задаваться различными способами: каркасные задаются вершинами и ребрами, объемные (твердотельные) формируются из элементарных объектов с использованием логических операций объединения, вычитания, пересечения. По таким моделям можно не только построить их графические изображения (виды, разрезы, сечения), но и рассчитать их масс-инерционные характеристики, такие как масса, объем, момент инерции и т. д., если указать материал, из которого выполнено изделие.

Для моделирования деталей сложной формы в *КОМПАС-3D* реализована возможность поверхностного моделирования. Данные задачи могут встречаться при проектировании лопаток и корпусов приборов, изготавливаемых из пластика. Использование поверхностного моделирования позволяет получать детали сложной формы и тем самым обеспечивает требования, выдвигаемые к данным изделиям.

Структура интерфейса *КОМПАС-3D* полностью повторяет *КОМПАС-График*. Отличительной чертой является дерево модели, которое позволяет увидеть последовательность всех операций создания трехмерной модели детали (рис. 1.38).



Рис. 1.38. Панель Дерева модели

Ниже представлено описание некоторых команд на инструментальной области.

Кнопка *Редактирование детали* на инструментальной панели содержит операции для работы с объемными формами детали.

Кнопка *Сплайн по точкам* открывает доступ к панели, позволяющей создать цилиндрические, конические, винтовые и пространственные ломаные линии, а также сплайны.

Кнопка *Поверхности* « открывает доступ к панели, которая содержит ряд кнопок, позволяющих импортировать поверхности.

Кнопка *Массивы создавать массивы: массив по сетке, массив по концентрической сетке и т. д.* 

Некоторые команды имеют несколько операций, они отмечены черным треугольником в правом нижнем углу. Одной из таких операций является *Операция выдавливания*, она может быть выполнена несколькими различными способами 🗊 😰 🏖 🐣. Виртуальную модель можно расположить на экране в соответствии с шестью основными видами: вид спереди, вид сверху, вид снизу, вид слева, вид справа, вид сзади. Для получения на экране соответствующего вида необходимо воспользоваться кнопкой *Ориентация вида*.

При работе с моделью пользователь может в любой момент времени изменить способ ее отображения. Для выбора способа отображения необходимо воспользоваться рядом кнопок на панели управления.

Кнопка *Каркас* 🕸 отображает модель в виде ребер и вершин.

Кнопка *Без невидимых линий* <sup>©</sup> позволяет увидеть модель в виде каркаса, но с удаленными невидимыми линиями.

Если в процессе формирования модели детали необходимо видеть скрытые от взгляда линии, используют кнопку *Невидимые линии тонкие* .

Наиболее реалистично будет выглядеть модель, если включить кнопку *Полутоновое* или *Полутоновое с каркасом*.

В КОМПАС-3D плоскую фигуру, с помощью которой формируется тело, принято называть эскизом, а способ перемещения – операцией.

Операция **Эскиз** располагается в одной из стандартных плоскостей проекции, на одной из плоских граней, принадлежащих модели, или на вспомогательной плоскости, положение которой определено пользователем.

Для построения эскиза используется среда создания графического документа, соответственно инструментальная панель геометрии, редактирования, параметризации и т. д. Эскиз представляет собой набор геометрических объектов. При создании эскиза можно скопировать ранее созданный фрагмент графического документа.

Основными операциями на *Инструментальной панели* являются следующие.

Элемент выдавливания 🗊 – выдавливание плоского контура (эскиза) в направлении нормали к этому контуру.

Элемент вращения 💷 – вращение контура вокруг оси (ось выполняется типом линии Осевая), лежащей в плоскости контура.

Элемент по траектории — перемещение контура вдоль направляющей.

Элемент по сечениям 🤌 – построение трехмерного объекта по нескольким контурам (сечениям), плоскости которых расположены параллельно друг другу.

Необходимо обратить внимание на то, что каждая операция имеет различные модификации, которые позволяют расширить возможности конструирования модели. Например, в процессе выдавливания многоугольника можно дополнительно задать направление и угол уклона, тогда вместо призмы можно получить усеченную пирамиду.

Если конструкция модели слишком сложная, то основных операций для ее создания бывает недостаточно. Такая конструкция получается объединением (добавлением) и вычитанием дополнительных объемов. Построению каждого дополнительного объема предшествует создание нового контура (эскиза). Примерами добавления объема могут служить выступы, ребра жесткости, бобышки, а примерами вычитания объема – отверстия, вырезы, канавки, проточки и т. д.

При конструировании объемных моделей удобно пользоваться следующей терминологией.

Грань – гладкая часть поверхности (плоская или криволинейная).

*Ребро* – прямая или кривая линия пересечения двух соседних граней.

*Вершина* – точка пересечения ребер.

*Тело модели* – область пространства, ограниченная гранями модели.

Телу модели могут быть присвоены свойства материала, из которого впоследствии будет изготовлена деталь. По созданной таким образом модели можно легко определить масс-инерционные характеристики, выполнить прочностные, тепловые и другие расчеты.

Нужно помнить, что создание новой модели необходимо начинать с анализа информационной модели и мысленного расчленения ее на отдельные простые тела (призму, цилиндр, конус и т. д.). Далее следует определить базовое тело, к которому затем будут добавляться и вычитаться другие элементы конструкции.

Большинство моделей строятся путем выдавливания некоторого эскиза, из-за этого при формировании контура необходимо соблюдать следующие правила:

 под эскизом понимается любой линейный объект или совокупность последовательно соединенных линейных объектов (отрезков, дуг и т. д.);

– контур эскиза всегда выполняется типом линии **Основная** (ось вращения выполняется типом линии **Осевая**);

контур эскиза не должен иметь точек самопересечения, пересечения
 с другим контуром или линий наложения;

 – при построении сплошного тела с помощью операции выдавливания контур должен быть замкнутым, в противном случае компьютер создаст тонкостенную оболочку.

Эскиз детали может состоять из одного или нескольких контуров. Если контур один, то он может быть незамкнутым, а если контуров несколько, то все они должны быть замкнутыми. Причем один контур наружный, а все остальные вложены в него.

## Лабораторная работа № 3

# ПОСТРОЕНИЕ ТРЕХМЕРНОЙ МОДЕЛИ В ПРОГРАММЕ КОМПАС-3D

Цель работы: приобретение и закрепление студентами навыков использования *КОМПАС-3D* при построении 3D-модели змеевикового теплообменного аппарата.

Описание работы: используя чертеж (рис. 1.39) и размеры из своего варианта (табл. 1.3), необходимо построить трехмерную модель змеевикового теплообменного аппарата в *КОМПАС-3D*.



Рис. 1.39. Модель теплообменника

#### Исходные данные

| Вариант | а, мм | b, мм | с, мм | d, мм | е, шт. |
|---------|-------|-------|-------|-------|--------|
| 1       | 400   | 300   | 200   | 36    | 4      |
| 2       | 400   | 360   | 240   | 40    | 6      |
| 3       | 440   | 390   | 260   | 30    | 2      |
| 4       | 380   | 300   | 200   | 44    | 6      |
| 5       | 360   | 290   | 190   | 34    | 4      |
| 6       | 400   | 360   | 240   | 32    | 4      |
| 7       | 420   | 340   | 220   | 42    | 2      |
| 8       | 420   | 300   | 200   | 36    | 6      |
| 9       | 460   | 400   | 260   | 40    | 6      |
| 10      | 420   | 380   | 250   | 30    | 4      |
| 11      | 350   | 310   | 200   | 44    | 2      |
| 12      | 360   | 320   | 210   | 34    | 2      |
| 13      | 340   | 300   | 200   | 32    | 4      |
| 14      | 390   | 360   | 240   | 42    | 6      |
| 15      | 430   | 390   | 260   | 36    | 2      |
| 16      | 340   | 300   | 200   | 40    | 6      |
| 17      | 330   | 290   | 190   | 30    | 4      |
| 18      | 390   | 360   | 240   | 44    | 4      |
| 19      | 380   | 340   | 220   | 34    | 2      |
| 20      | 340   | 300   | 200   | 32    | 6      |
| 21      | 430   | 400   | 260   | 42    | 6      |
| 22      | 420   | 380   | 250   | 36    | 4      |
| 23      | 340   | 300   | 200   | 40    | 2      |
| 24      | 400   | 360   | 240   | 30    | 2      |
| 25      | 420   | 390   | 260   | 44    | 4      |
| 26      | 340   | 300   | 200   | 34    | 4      |
| 27      | 330   | 290   | 190   | 32    | 6      |
| 28      | 390   | 360   | 240   | 42    | 2      |
| 29      | 380   | 340   | 220   | 40    | 6      |
| 30      | 340   | 300   | 200   | 36    | 4      |

# Порядок выполнения лабораторной работы

1. Создаем эскиз окружности (рис. 1.40):

– выбираем Плоскость XY (1) в Дереве построения, запускаем режим
 Эскиз (2), используя инструмент Окружность (3);

– размещаем её в точке начала координат и при помощи инструмента *Авторазмер* (4) задаем диаметр 400 мм (в таблице это значение «b»);

– после этого выходим из эскиза, нажав кнопку Эскиз (2).



Рис. 1.40. Создание окружности

2. Выдавливаем полый цилиндр (рис. 1.41):

– нажимаем ЛКМ на созданный эскиз в Дереве построения и выбираем Элемент выдавливания (1);

- вводим значение из таблицы «а» в строке *Расстояние* (2);

– включаем опцию Тонкостенный элемент (3) и вводим значение 6 мм (4), при этом необходимо проконтролировать, чтобы выдавливание происходило вовнутрь с помощью операции Поменять местами (5);

– нажимаем галочку (6).



Рис. 1.41. Создание полого цилиндра

3. Создаем выходной патрубок под видом «А» (рис. 1.42).

3.1. Выделяем Плоскость ZX и создаем несколько смещенных плоскостей с помощью инструмента Смещенная плоскость (1) на следующих расстояниях: «b/2-10»; «b/2+10»; «b/2+34». С помощью кнопки Смена направления (3) контролируем направление смещения плоскостей.



Рис. 1.42. Создание смещенных плоскостей

3.2. На смещенных плоскостях создаем от центра на 60 мм три смещенные окружности диаметрами 32, 32 и 44 мм (рис. 1.43).



Рис. 1.43. Создание окружностей

3.3. Используя инструмент Элемент по сечениям (1), выделяем вторую и третью окружности (2) и нажимаем галочку (3) (рис. 1.44).



Рис. 1.44. Создание элемента по сечениям

3.4. Снова используем инструмент Элемент по сечениям (1), выделяем первую окружность и ближайшее ребро образовавшегося в прошлой операции усеченного конуса (2) и нажимаем галочку (3) (рис. 1.45).

| ☐ Твердотельное<br>моделирование Каркас и<br>поверхности Инструменты<br>Инструменты |            | ■ 💾<br>D 🔡<br>¢ | Павтолини<br>Одокружное<br>Парямоуго | я <b>1</b><br>ть<br>льник | Элемент по<br>Сечениям     Вырезать<br>выдавливанием     Скругление | № Придать<br>толщину<br>Отверстие<br>Простое<br>Уклон | <ul> <li>Ребро<br/>жесткости</li> <li>Сечение</li> <li>Булева<br/>операция</li> </ul> | <ul> <li>Добавить<br/>деталь-заготов</li> <li>Оболочка</li> <li>Масштабиров</li> </ul> |
|---|------------|-----------------|--------------------------------------|---------------------------|---|---|---|--|
| *   | Систе      | мная 🗄          | Эскиз                                | •                         |   | Эле   | менты тела  | ▼ 8  |
| Параметры   | Дe         | рево            |                                      | <b>¢</b>                  |   |   |   |  |
| Элемент по сечениям   |            |                 | •                                    |                           |   |   |   |  |
| 8 🖗 🕭 🕭   |            |                 | 3 🗸                                  | <                         |   |   |   |  |
| Результат:<br>Объединение   |            | <b>P</b> 1      | 9                                    |                           |   |   |   |  |
| <u>Сечения</u>  | Эскиз:2    |                 |                                      | 4                         |   |   |   |  |
|   | Ребро.     | Элемен          | по сечен                             |                           |   |   |   |  |
|   | 2          |                 |                                      | -                         |   |   |   |  |
|   | 2          |                 |                                      |                           |   |   |   |  |
|   |            |                 |                                      |                           |   |   |   |  |
| Осевая линия  | Укажи      | пе объе         | кт                                   | -                         |   |   |   |  |
| Начальное сечение:<br>Автоматически   | <u>%</u> 🧐 | 1 😵             |                                      |                           |   |   |   |  |
| Конечное сечение:<br>Автоматически  | <b>%</b>   | 1 😵             |                                      |                           |   |   |   |  |
| Γ   | Зам        | кнуть тр        | аекторию                             |                           |   |   |   |  |

Рис. 1.45. Создание элемента по сечениям

3.5. Создаем финальный элемент выходного патрубка:

– строим эскиз, как показано на рис. 1.46. Для этого выделяем торцевую поверхность (1) и с помощью инструмента **Окружность** (2) строим эскиз согласно размерам на чертеже (рис. 1.39). Применяем инструмент **Копия по окружности** (3), чтобы построить шесть отверстий под болты.



Рис. 1.46. Создание эскиза

*Примечание:* чтобы сделать *Основную* линию *Осевой*, необходимо нажать на неё ЛКМ и в появившемся окне изменить стиль линии;

– выделяем полученный эскиз и выдавливаем его с помощью инструмента Элемент выдавливания (1) на 6 мм (2), после чего нажимаем галочку (3) (рис. 1.47).

| L3_2.m3a                         | × 🗈              | -uj /iP3_1.ttw       |                         |                                   |                    |                           |
|----------------------------------|------------------|----------------------|-------------------------|-----------------------------------|--------------------|---------------------------|
| П Твердотельное<br>моделирование | 🗅 🖿 🖪            | 📆 Автолиния 1        | Элемент<br>выдавливания | 1 <sup>7</sup> Придать<br>толщину | Ребро<br>жесткости | Добавить<br>деталь-заготи |
| Каркас и<br>поверхности          | 🗗 🖉 🗟            | 💽 Окружность         | Вырезать выдавливанием  | Отверстие                         | 🗍 Сечение          | 🔳 Оболочка                |
| Ц Инструменты<br>эскиза          |                  | <b>Прямоугольник</b> | Скругление              | 🚺 Уклон                           | Булева операция    | 🗗 Масштабирс              |
| *                                | Системная 🗄      | Эскиз 🔻 🗄            |                         | Элементь                          | і тела             |                           |
| Параметры                        | Дерево           | ¢                    |                         |                                   |                    |                           |
| Элемент выдавливания             |                  | <b>()</b> 🛱          |                         |                                   |                    |                           |
| 5 🖗 🕭 🕭                          |                  | 3                    |                         |                                   | 0                  |                           |
| Результат:<br>Объединение        |                  |                      | 172                     | 6                                 |                    |                           |
| <u>Сечение</u>                   | 🖍 Эскиз:б        | ×сц                  | \$TE                    |                                   |                    |                           |
| Направляющий<br>объект           | Эскиз:б          | × 🖊                  | \$50                    |                                   | it to              |                           |
| Способ:<br>На расстояние         | 白田で              | ¢11                  | ARE                     | 7                                 |                    | 2                         |
| Расстояние 🔻                     | 6 <mark>2</mark> | $\pm \rightarrow$    | ALLA                    | 2h c                              |                    | 3/                        |
| Угол 🔻                           | 0                | ▼ →                  |                         |                                   | 5                  |                           |
| Симметрично:                     | 0                | _                    |                         | 68                                | 1/                 |                           |
| Второе направление:              | 0                | _                    |                         |                                   |                    |                           |

Рис. 1.47. Выдавливание эскиза

3.6. Вырезаем отверстие внутри выходного патрубка:

– создаем эскиз на **Плоскости ZY**, как показано на рис. 1.48 (согласно размерам на рис. 1.39);



Рис. 1.48. Создание эскиза

*Примечание:* чтобы операция *Вырезать вращением* работала корректно, необходимо создать осевую линию;

– выделяем созданный эскиз и используем инструмент *Вырезать вращением* (1), после чего нажимаем галочку (3) (рис. 1.49).



Рис. 1.49. Вырезание эскиза

4. Создаем входной патрубок теплообменного аппарата:

– выделяем *Плоскость ZY* и строим эскиз, как показано на рис. 1.50 (согласно размерам на рис. 1.39);



Рис. 1.50. Построение эскиза

– выделяем созданный эскиз и используем инструмент Элемент вращения (1), после чего нажимаем галочку (2) (рис. 1.51);



Рис. 1.51. Выдавливание вращением

– выделяем торцевую поверхность входного патрубка (1) и создаем на неё эскиз с отверстием для потока чтобы сделать отверстие в корпусе теплообменника (согласно размерам на рис. 1.39). После чего используем операцию *Вырезать выдавливанием* (2), вводим расстояние 60 мм (3) и нажимаем галочку (4) (рис. 1.52).



Рис. 1.52. Вырезание отверстия под болты

– выделяем торцевую поверхность входного патрубка (1) и создаем на неё эскиз с отверстиями под болты (согласно размерам на рис. 1.39). После чего используем операцию *Вырезать выдавливанием* (2) и нажимаем галочку (3) (рис. 1.53).



Рис. 1.53. Вырезание отверстия под болты

5. Удаляем лишние элементы патрубков внутри теплообменного аппарата (рис. 1.54):

- выделяем Плоскость XY и строим окружность диаметром «b-12»;

– выделяем созданный эскиз и используем инструмент Вырезать выдавливанием (1), после чего указываем расстояние вырезания равное «а» (2). С помощью кнопки Смена направления (3) контролируем направление вырезания. Нажимаем галочку (4).



Рис. 1.54. Вырезание отверстия

6. Создаем змеевиковые трубки внутри теплообменного аппарата.

6.1. Выделяем *Плоскость XY* и строим эскиз, согласно условиям своего варианта, как показано на рис. 1.55.



Рис. 1.55. Создание эскиза

6.2. Строим спираль (рис. 1.56)

- выделяем *Плоскость XY* (1) и нажимаем *Спираль цилиндрическая* (2);

- вводим значение диаметра, равное «b»;
- выбираем способ построения «По шагу и высоте» t,h (3);
- указываем значение шага, равное « $b \times 2$ » (4);
- указываем значение высоты спирали, равное «b» (5);

– нажимаем галочку (6).



Рис. 1.56. Создание спирали

6.3. Выдавливаем трубки (рис. 1.57):

- нажимаем кнопку Элемент по траектории (1);
- напротив *Сечения* (2) выбираем эскиз окружностей;
- напротив *Траектории* (3) выбираем спираль;

– включаем опцию Тонкостенный элемент (4), вводим толщину
 2 мм (5), при этом необходимо проконтролировать, чтобы выдавливание
 происходило вовнутрь с помощью операции Поменять местами (6);

– нажимаем галочку (7).



Рис. 1.57. Выдавливание по траектории

*Примечание:* при выдавливании можно выбрать, будут ли выдавлены все элементы или нет.

7. Создаем патрубки (рис. 1.58). Для этого нажимаем на инструмент Элемент выдавливания (1), указываем расстояние выдавливания, равное 20 мм (2), выбираем грани торцевой поверхности трубок (3) и нажимаем галочку (4). Повторяем данную операцию для всех трубок с обратной стороны.



Рис. 1.58. Выдавливание патрубки

8. Строим торцевую стенку теплообменного аппарата (рис. 1.59):

выделяем торцевую поверхность корпуса и создаем эскиз, повторяющий внешние контуры корпуса и трубок (1);

– выделяем созданный эскиз и применяем инструмент Элемент выдавливания (2);

– задаем толщину 6 мм и контролируем направления выдавливания с помощью операции *Сменить направление* (4) если это необходимо;

– нажимаем галочку (5).



Рис. 1.59. Создание крышки

9. Повторяем п. 7 для другой стороны корпуса теплообменного аппарата.

10. Создаем разрез и указываем основные габаритные размеры готовой модели теплообменного аппарата (рис. 1.60):

– нажимаем на *Отображение сечения модели* (1) и указываем необходимую плоскость;

- с помощью инструментов *Линейный размер* и *Диаметральный размер* (2) указываем основные размеры из своего варианта.



Рис. 1.60. Создание разреза и указание размеров

11. Сохраняем проект в папку, ранее созданную студентом. Для этого нажимаем *Фаил – Сохранить как... – Сохранить*.

#### Содержание отчета

1. Титульный лист.

2. Цель работы.

3. Описание работы (с исходной схемой и таблицей для своего варианта).

4. Этапы построения.

5. Результаты работы (три базовых вида и вид в изометрии с разрезом и указанием размеров).

6. Вывод.

#### Контрольные вопросы

1. Что такое точка начала координат?

- 2. Что такое координатные оси?
- 3. Что такое координатная плоскость?

4. Какие инструменты и операции КОМПАС-3D использовались для создания моделей?

5. Назовите основные этапы построения моделей.

# 2. ПРОВЕДЕНИЕ ЧИСЛЕННОГО АНАЛИЗА В ANSYS

*ANSYS* – универсальная программная система конечно-элементного (КЭ) анализа, является довольно популярной у специалистов в области компьютерного инжиниринга (САЕ, Computer-Aided Engineering) и КЭ решения линейных и нелинейных, стационарных и нестационарных пространственных задач механики деформируемого твёрдого тела и механики конструкций (включая нестационарные геометрически и физически нелинейные задачи контактного взаимодействия элементов конструкций), задач механики жидкости и газа, теплопередачи и теплообмена, электродинамики, акустики, а также механики связанных полей.

Начиная с 10-й версии, в комплект программных продуктов ANSYS добавлена программная среда *Workbench* – универсальный инструмент для структурирования и контроля решения задач. В ее состав входит несколько удобных и простых в освоении инструментов для создания геометрии любой сложности, а также сетки конечных элементов, ориентированной на конкретный тип анализа. Workbench без труда позволяет создать геометрию объекта (в том числе с помощью параметрических функций), сетку КЭ и связать, например, тепловой и структурный анализ в рамках одного проекта с возможностью последующего редактирования параметров на любой стадии. Кроме того, эта программная среда дает возможность экономить время путем исключения ручной передачи файлов и перерасчета.

*ANSYS Workbench* предоставляет мощные методы для взаимодействия с семейством решателей ANSYS. Эта среда обеспечивает уникальную интеграцию с CAD-системами в процессе проектирования.

Рабочее окно Workbench представлено на рис. 2.1.

Схема проекта содержит необходимые этапы выполнения анализа (рис. 2.2). Проект может содержать несколько таких блоков для различных типов инженерных расчетов, между которыми могут устанавливаться связи (рис. 2.3).

| N Unsaved Project - Workbench           | -         | -                                       |      | -               |      |         | _ 0                    | x        |
|---|-----------|---|------|-----------------|------|---------|------------------------|----------|
| <u>File View Tools Units Extensions</u> | Help      | 1                                       |      |                 |      |         |                        |          |
| Project                                 |           |   |      |                 |      |         |                        |          |
| Import Reconnect Refresh Pro            | iect 🖉 Ur | ndate Proj                              | ect  |                 |      |         |                        |          |
|   |           |   |      |                 |      |         |                        |          |
| Toolbox • 4                             | Project   | Schemati                                |      | <b>▼</b> 4      | ×    | opertie | es of Project Schema   | <u> </u> |
| □ Analysis Systems 2                    |           |   |      |                 | 31   |         | A                      | вЭ       |
| 🗹 Design Assessment                     |           |   |      |                 |      | 1       | Property               | Value    |
| Eigenvalue Buckling                     |           |   |      |                 |      | 2       | Notes                  |          |
| Eigenvalue Buckling (Samcef)            |           |   |      |                 |      | 3       | Notes                  |          |
| Electric                                |           |   |      |                 |      | 4       | Project Update         |          |
| Explicit Dynamics                       |           |   |      |                 |      | 5       | Update Option          | R., 💌    |
| Fluid Flow - Blow Molding (Polyflow)    |           |   |      |                 |      | -       |                        |          |
| Fluid Flow-Extrusion(Polyflow)          |           |   |      |                 |      |         |                        |          |
| Fluid Flow (CFX)                        |           |   |      |                 |      |         |                        |          |
| Fluid Flow (Fluent)                     |           |   |      |                 |      |         |                        |          |
| Fluid Flow (Polyflow)                   |           |   |      |                 |      |         |                        |          |
| Harmonic Response                       |           |   |      |                 |      |         |                        |          |
| Hydrodynamic Diffraction                |           |   |      |                 |      |         |                        |          |
| Hydrodynamic Response                   |           |   |      |                 |      |         |                        |          |
| IC Engine                               |           |   |      |                 |      |         |                        |          |
|   |           |   |      |                 | _1   |         |                        |          |
|   | Messag    | es                                      |      | <b>▼</b> ₽      | ×    |         |                        |          |
| Modal (ABAQUS)                          |           | A                                       | В    | C D             | 4    |         |                        |          |
| Bandom Vibration                        | 1         | Type                                    | Text | ociati Date/Tin |      |         |                        |          |
| Pasponsa Spartnim                       | -         | .,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,, |      |                 |      |         |                        |          |
| Response Spectrum                       |           |   |      |                 |      |         |                        |          |
| Static Structural                       |           |   |      |                 |      |         |                        |          |
|   | 1         |   |      |                 |      |         |                        |          |
| view Air / Customize                    |           |   |      |                 |      | _       |                        |          |
| Ready                                   |           | _                                       |      |                 | 💷 Sł | how Pro | ogress 🖓 🟳 Hide 0 Mess | ages 🔡   |

*Puc. 2.1.* Рабочее окно Workbench:

1 – главное меню; 2 – панель инструментов проекта;

3 – основное окно проекта; 4 – окно сообщений;

5 – окно свойств выбранного объекта

| ▼ | А                   |     |    |
|---|---------------------|-----|----|
| 1 | 😇 Static Structural |     | ١. |
| 2 | 🥏 Engineering Data  | × 🖌 | 1  |
| 3 | Geometry            | ? 🖌 | 2  |
| 4 | Model               | ? 🖌 | 3  |
| 5 | 🍓 Setup             | ? 🖌 | 4  |
| 6 | Galution Solution   | ? 🖌 | 5  |
| 7 | 🥩 Results           | ? 🖌 | 6  |
|   | Static Structural   |     |    |

Рис. 2.2. Блок проекта:

1 – задание свойств материалов;

2 – создание геометрической модели; 3 – генерация сетки;

4 – задание параметров симуляции; 5 – решение задачи;

6 – предоставление результатов анализа





1 – добавление композитного материала;
 2 – добавление подготовленной сеточной модели в расчет

В среду *ANSYS Workbench* входит несколько различных приложений: *Material Designer* – приложение для создания композитных материалов.

*ANSYS Composite PrepPost (ACP)* – приложение, которое позволяет просто и удобно моделировать сложные структуры изделий из композитных материалов. Данный инструмент ускоряет процесс расчётов, при этом выдерживается высокая точность получаемых результатов.

*Mechanical* – приложение для выполнения структурного и теплового анализа с использованием решателя ANSYS. Наложение сетки на область расчета также включено в Mechanical.

*Fluid Flow (CFX)* – приложение для выполнения анализа с использованием CFD CFX.

*Fluid Flow (FLUENT)* – приложение для выполнения анализа с использованием CFD FLUENT.

*DesignModeler* (геометрия) – приложение для создания и редактирования CAD-геометрии и подготовки твердотельной модели для использования в дальнейших расчетах.

Engineering Data – приложение для определения свойств материала.

*Meshing Application* – приложение для генерации области расчета CFD и генерирования сетки.

*Design Exploration* – приложение для проведения проектных исследований и оптимизации анализов.

*Finite Element Modeler* (FE Modeler) – приложение для адаптации сетки, полученной в NASTRAN и ABAQUS, при использовании в ANSYS.

# **2.1. ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММНОГО ПАКЕТА ANSYS MECHANICAL** В ИНЖЕНЕРНОМ АНАЛИЗЕ

Пакет ANSYS Mechanical позволяет решить практически любую задачу механики деформируемого твердого тела или получить сопряженное решение задачи механики с решением задач других областей физики, например гидрогазодинамики, теплопереноса или электромагнетизма. Данный пакет предлагает возможность создания единой фундаментальной матрицы взаимодействия полей с поддержкой акустического, пьезоэлектрического, термопрочностного и термоэлектрического типов анализа.

ANSYS Mechanical способен решать следующие типы задач:

- прочностной анализ - статический;

– линейная и нелинейная устойчивость;

- контактные задачи;

– тепловой анализ и т. д.

Данный пакет включает: полный набор линейных и нелинейных элементов, удобную для использования и редактирования базу материалов от конструкционной стали до резины, а также широкий набор методов решения (решателей). Это позволяет легко решать самые сложные и комплексные задачи, даже если они включают нелинейный контакт.

Рабочее окно Mechanical представлено на рис. 2.4.

*Панель инструментов* имеет широкую функциональность и предназначена для настройки отображения проекта и проведения его анализа.

*Дерево проекта* отображает разделы проекта, используемые для проведения анализа.

*Настройки элементов проектов* меняются в зависимости от выбранного раздела дерева проекта и предназначены для контроля параметров проекта.

*Сообщения системы* отображают сообщения об ошибках системы и дают рекомендации для их устранения.





- 1 главное меню; 2 панель инструментов;
- 3 дерево проекта; 4 настройки элементов проекта;
- 5 окно просмотра модели; 6 сообщения системы

Расчет в *Static Structural* подразумевает использование нескольких приложений, между которыми происходит поток информации, возникающей в процессе постановки и решения задач механики деформируемого твердого тела в статической постановке. Такими приложениями являются следующие.

1. *Engineering Data* используется для создания и хранения материалов, применяемых в анализе.

2. DesignModeler или SpaceClaim (представлены блоком Geometry). DesignModeler подходит в том случае, если качественной исходной CADгеометрией модели хорошо параметризированы, не имеют сложных поверхностей, сопряжений, и их можно быстро построить по чертежам. *DesignModeler* подходит, когда нужно работать импортированной геометрией, имеющей нетипичные форматы – STEP или IGES, если эта геометрия имеет сложные поверхности и сопряжения, подразумевается дальнейшая 3D-печать или топологическая оптимизация.

3. *Mechanical* (объединяет в себе несколько блоков: *Model*, *Setup*, *Solution*, *Results*). При использовании в модуле *Static Structural* имеет ограниченный ряд возможностей и позволяет решать статические/равновесные задачи механики. При работе с данным инструментом пользователю необходимо выполнить следующие этапы:

- свойства материала;
- систему координат;
- контактные поверхности;
- сеточную модель;
- граничные условия;
- решения задачи и контроль сходимости;
- обработку и анализ результатов.

Необходимо отметить, что *Mechanical* имеет интегрированный в него инструмент – *Meshing*. *Meshing* (представлен блоком *Mesh*) – многофункциональный сеточный препроцессор, который позволяет генерировать высококачественные расчетные сетки в автоматическом режиме для различных типов инженерного анализа. Модуль предоставляет широкий набор инструментов для построения расчетных сеток на основе треугольных и четырехугольных элементов для 2D-моделей и на основе тетраэдров, гексаэдров или пирамидальных элементов для 3D-моделей. В программе заложены алгоритмы для построения структурированных и неструктурированных расчетных сеток, а также возможности качественного разрешения расчетной сетки вблизи твердых стенок и других особенностей моделей, что особенно важно для гидродинамического анализа.

# Лабораторная работа № 4 ПРОЧНОСТНОЙ АНАЛИЗ В ПРОГРАММЕ ANSYS

Цель работы: изучение основных этапов проведения статического прочностного анализа в среде *ANSYS Workbench* с использованием инструмента *Parameters*; приобретение навыков в использовании программного инструмента *ANSYS Workbench – Static Structural* при проведении прочностного анализа корпуса подшипника.

Описание работы: используя модуль *Static Structural* и инструмент *Parameters*, необходимо рассчитать минимальное значение коэффициента запаса прочности (*Safety Factor*), максимальное значение эквивалентного перемещения (*Equivalent Stress*) и максимальное значение полного перемещения (*Total Deformation*) при разных значениях величин температуры корпуса подшипника (рис. 2.5).



Рис. 2.5. Расчетная схема

Известны: материал корпуса подшипника, участки жесткой заделки (*Fixed Support*), направление действия векторов сил  $F_{1x}$ ,  $F_{1y}$  и  $F_{2x}$ ,  $F_{2y}$  (*Force*), действующих при вращении коленчатого вала, и начальная температура (*Thermal Condition*) корпуса подшипника (исследуется четыре значения с шагом в 25 °C. Пример: 25 °C – 50 °C – 75 °C – 100 °C) (табл. 2.1).

#### Исходные данные

| Вариант | Материал         | $F_{1x} = F_{2x}$ , кН | F <sub>1y</sub> , кН | F <sub>2y</sub> , кН | T, ⁰C |
|---------|------------------|------------------------|----------------------|----------------------|-------|
| 1       | Copper Alloy     | 1                      | 8                    | 10                   | 10    |
| 2       | Structural Steel | 2                      | 10                   | 12                   | 15    |
| 3       | Copper Alloy     | 1,5                    | 12                   | 14                   | 20    |
| 4       | Aluminum Alloy   | 2                      | 3                    | 12                   | 25    |
| 5       | Copper Alloy     | 3                      | 5                    | 10                   | 10    |
| 6       | Copper Alloy     | 2,5                    | 7                    | 12                   | 15    |
| 7       | Structural Steel | 1,5                    | 9                    | 14                   | 20    |
| 8       | Aluminum Alloy   | 4                      | 8                    | 10                   | 25    |
| 9       | Copper Alloy     | 1                      | 10                   | 12                   | 10    |
| 10      | Aluminum Alloy   | 3,5                    | 8                    | 10                   | 15    |
| 11      | Aluminum Alloy   | 1                      | 10                   | 12                   | 20    |
| 12      | Structural Steel | 2                      | 12                   | 14                   | 25    |
| 13      | Copper Alloy     | 2,5                    | 3                    | 12                   | 10    |
| 14      | Copper Alloy     | 1,5                    | 5                    | 10                   | 15    |
| 15      | Aluminum Alloy   | 1,5                    | 7                    | 12                   | 20    |
| 16      | Structural Steel | 2                      | 9                    | 14                   | 25    |
| 17      | Aluminum Alloy   | 1,5                    | 8                    | 10                   | 10    |
| 18      | Structural Steel | 2                      | 10                   | 12                   | 10    |
| 19      | Copper Alloy     | 3                      | 8                    | 10                   | 15    |
| 20      | Aluminum Alloy   | 2,5                    | 10                   | 12                   | 20    |
| 21      | Structural Steel | 1,5                    | 12                   | 14                   | 25    |
| 22      | Copper Alloy     | 2                      | 3                    | 12                   | 10    |
| 23      | Aluminum Alloy   | 5                      | 5                    | 10                   | 15    |
| 24      | Copper Alloy     | 3,5                    | 7                    | 12                   | 20    |
| 25      | Aluminum Alloy   | 1                      | 9                    | 14                   | 25    |
| 26      | Structural Steel | 3,5                    | 8                    | 10                   | 10    |
| 27      | Aluminum Alloy   | 1                      | 10                   | 12                   | 15    |
| 28      | Copper Alloy     | 5                      | 8                    | 10                   | 20    |
| 29      | Structural Steel | 2,5                    | 10                   | 12                   | 25    |
| 30      | Copper Alloy     | 1,5                    | 8                    | 10                   | 10    |

### Порядок выполнения лабораторной работы

1. Запускаем *ANSYS Workbench* и добавляем модуль *Static Structural* двойным нажатием ЛКМ в разделе *Toolbox* (рис. 2.6).



Рис. 2.6. Добавление модуля

2. Дважды нажимаем ЛКМ на блок *Engineering Data* (1), после чего жмем на *Engineering Data Sources* (2). Выбираем библиотеку *General Materials* (3) и подключаем материал из своего варианта (4). После этого можно закрыть *Engineering Data* (5) (рис. 2.7).



а

Рис. 2.7. Выбор материала (начало)

| We Unsaved Project - Workbench  |           |                              |                   |        |    |      |                      |                                      |                             |                       |  |
|---|-----------|------------------------------|-------------------|--------|----|------|----------------------|--------------------------------------|-----------------------------|-----------------------|--|
| <u>Fi</u> le <u>E</u> dit <u>Vi</u> ew <u>T</u> ools <u>U</u> nits Extensions Jobs <u>H</u> elp   |           |                              |                   |        |    |      |                      |                                      |                             |                       |  |
| 🎦 💕 🛃 🔣 📑 Project 🦪 A2:E  | ngineerin | g Data 🗙 5                   |                   |        |    |      |                      |                                      |                             |                       |  |
| 🍸 Filter Engineering Data 🏢 Engineering Data  | Sources   | 2                            |                   |        |    |      |                      |                                      |                             |                       |  |
| Toolbox 🗸 🕂 🗙   | Enginee   | ring Data Sources            |                   |        |    |      |                      |                                      |                             |                       |  |
| Field Variables   |           | A B C                        |                   |        |    |      |                      |                                      |                             |                       |  |
| 🚰 Temperature   | 1         |                              | Data Source       |        |    |      | 1                    | Location                             |                             | D                     |  |
| Frequency   | 2         | 🔶 Favorites                  |                   |        |    |      |                      |                                      | Quick access list and defa  | ult items             |  |
| Coordinate X  | 3         | Granta Design Sample Ma      | iterials          |        |    |      |                      |                                      | More than 100 sample dat    | tasheets for          |  |
| Coordinate 7  |           |                              | 2                 |        |    |      |                      |                                      | polymers, metals, ceramic   | s and wood            |  |
| Shear Angle   | 4         | 🛄 General Materials          | 3                 |        |    |      |                      | <u>k</u>                             | General use material samp   | oles for use          |  |
| Degradation Factor  | 5         | Additive Manufacturing N     | laterials         |        |    |      |                      |                                      | Additive manufacturing ma   | aterial samp          |  |
| Create Field Variable   | 6         | Geomechanical Materials      |                   |        |    |      |                      |                                      | General use material samp   | les for use           |  |
|   | 7         | Composite Materials          |                   |        |    |      |                      | R.                                   | Material samples specific f | or composit           |  |
| <ul> <li>Isotropic Secant Coefficient of Thermal E</li> </ul>   | 8         | 🎒 General Non-linear Mater   | ials              |        |    |      |                      |                                      | General use material samp   | les for use i         |  |
| Orthotropic Secant Coefficient of Thermal   | 9         | Explicit Materials           |                   |        |    |      |                      | Material samples for use in          |                             |                       |  |
| Isotropic Instantaneous Coefficient of Th   | 10        | Hyperelastic Materials       |                   |        |    |      |                      | 🔲 🔣 Material stress-strain data samp |                             |                       |  |
| Orthotropic Instantaneous Coefficient of     Malting Temperature  |           | ій манадально полога.        |                   |        |    |      |                      |                                      | B 11 C                      | <b></b>               |  |
|   | Outline   | of General Materials         |                   |        |    |      |                      |                                      |                             |                       |  |
| Hyperelastic Experimental Data  |           |                              | А                 |        | в  | С    |                      | D                                    |                             |                       |  |
|   | 1         | Contents of                  | General Materials | )<br>A | Ac | dd   | Source               |                                      |                             |                       |  |
| Chaboche Test Data  | 2         | <ul> <li>Material</li> </ul> |                   |        |    |      |                      |                                      |                             |                       |  |
|   | 3         | ₂ 🍥 Air                      |                   |        | +  |      | e Ge                 | eneral_Materials.xml                 |                             | General p             |  |
|   | 4         | 📎 Aluminum Alloy             |                   |        | ÷  |      | e Ge                 | eneral_Materials.xml                 |                             | General a<br>MIL-HDBK |  |
| ⊞ Life  | 5         | Soncrete                     |                   |        | -  |      | œ Ge                 | eneral Materials.xml                 |                             |                       |  |
|   | 6         |                              |                   |        |    |      |                      | Conserval Materials yml              |                             |                       |  |
| Gasket     Ga |           |                              |                   |        |    | = 00 | ineral_hatenais.xiii |                                      | Canala El                   |                       |  |
|   |           |                              |                   |        |    |      | -                    |                                      |                             | sources a             |  |
|   | 7         | 🍥 FR-4                       |                   |        | ÷  |      | ≌ Ge                 | eneral_Materials.xml                 |                             | assumed               |  |
|   |           |                              |                   |        |    |      |                      |                                      |                             | direction i           |  |
| Geomechanical     Geo | 8         | 📎 Gray Cast Iron             |                   |        | ÷  |      | e Ge                 | eneral_Materials.xml                 |                             |                       |  |
| E Damage  | -         | Ø5 ·                         |                   |        |    |      | æ .                  | 1.44.1.1.1.1.1                       |                             |                       |  |

б

Рис. 2.7. Выбор материала (окончание)

*Примечание:* если у вас материал «Structural Steel», то данный шаг можно пропустить.

3. Импортируем геометрию (рис. 2.8):

- дважды нажимаем ЛКМ на блок *Geometry* в окне *Workbench*;

- в появившемся окне нажимаем *File – Open*;

– для того чтобы найти созданную геометрию, переходим в папку с ней и выбираем отображение всех форматов – *All Files (\*.\*)*. Нажимаем на созданную геометрию с расширением «.igs» в папке лабораторной работы и жмем кнопку *Открыть*. Импортированная геометрия показан на рис. 2.8;

– после этого окно геометрии можно закрыть.



Рис. 2.8. Импорт геометрии

4. Присваиваем выбранный материал к импортированной геометрии:

- дважды нажимаем ЛКМ на блок *Model* в окне *Workbench*;

– в появившемся окне нажимаем на «+» напротив *Geometry* (1), выделяем обе модели (удерживая кнопку Ctrl) и выбираем вариант согласно своему варианту (3) (рис. 2.9).



Рис. 2.9. Выбор материала

5. Проверяем корректность автоматического создания контактных поверхностей (рис. 2.10). Для этого раскрываем раздел *Connections* (1) и нажимаем на *Contact Region* (2). Проверяем корректность выбора контактирующих поверхностей (3) и тип контакта – *Bonded* (4).



Рис. 2.10. Настройка контактов

Примечание: Bonded – целевая и контактная поверхности сцепляются по всем направлениям; No Separation – целевая и контактная поверхности сцепляются, но проскальзывание разрешено; Frictionless – контакт без трения; Rough – «грубый» фрикционный контакт с отсутствием скольжения; Frictional – контакт с трением, нелинейный контакт.

6. Создаем сеточную модель (рис. 2.11):

- нажимаем ПКМ на раздел *Mesh* (1);

- напротив разрешения сетки (*Resolution*) устанавливаем значение 5 (2);

– устанавливаем хорошее качество базового значение для улучшения краев (*Span Angle Center*) – *Fine* (3);

- нажимаем *Generate* (4) и на экране появляется сеточная модель.
| Duplicate Q<br>Outline   | Insert<br>Update Sent<br>Mesh  | erate | e Surface Source/Target Controls Heat Heat Preview |
|--|--|-------|--|
| Outline  | 🕈 🗖  | ×     | 🔆 🗨 🔍 📦 😜 🐘 🔿 🔸 🤤 🕲 🕲 🎯 Select 💺 Moder 🗔 🗔 🗔       |
| 🕺 Name 💌 Sea   | arch Outline 🗸 🗸   |       |  |
| Project*<br>Model (A4)<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geometry<br>Geom | 11<br>11<br>Systems<br>cts<br>Contact Region<br>sctural (A5)<br>settings<br>ion (A6)<br>Solution Information |       |  |
| Details of "Mesh"  | ▼ 4 📋  | ×     |  |
| Element Order  | Program Controlled   | ^     |  |
|  | Default  |       |  |
| Lise Adaptive Sizing   | Vec  |       | 0,00   |
| Resolution   | 5 2  |       | 30,00  |
| Mesh Defeaturing   | Yes  |       |  |
| Defeature Size   | Default  |       | Messages   |
| Transition   | Fast 3   |       | Text   |
| Span Angle Center  | Fine 💌   |       |  |
| Initial Size Seed  | Coarse   |       |  |
| Bounding Box Diagonal  | Medium   |       |  |
| Average Surface Area   | 452,75 1010  | ¥     |  |

Рис. 2.11. Создание сетки

7. Задаем граничные условия.

7.1. Фиксируем корпус подшипника в пространстве (рис. 2.12):

– нажимаем ПКМ на Static Structural (1) и выбираем Insert – Fixed Support;

– выбираем отверстия, состоящие из двух частей, и нажимаем Apply (2).



Рис. 2.12. Фиксация в пространстве

7.2. Подводим действующие силы (рис. 2.13):

- нажимаем ПКМ на *Static Structural* (1) и выбираем *Insert* - *Force*;

– выбираем необходимую поверхность корпуса подшипника и нажимаем *Apply* (2);

– изменяем способ задания значений на компонентный (*Components*) (3);

- вводим значения сил по оси X и Y (4);

– повторяем приведенные выше операции для второй поверхности.



Рис. 2.13. Задание действия сил

7.3. Задаем начальную температуру согласно варианту (рис. 2.14):

– нажимаем ПКМ на *Static Structural* (1) и выбираем *Insert – Thermal Condition*;

- выбираем обе детали корпуса подшипника и нажимаем *Apply* (2);

– вводим начальное значение температуры (3);

– нажимаем на иконку параметра (4).



Рис. 2.14. Задание температуры

8. Выбираем необходимые результаты расчета (рис. 2.15). Для этого поочередно нажимаем ПКМ на *Solution* (1), наводим на *Insert* и выбираем (2): *Deformation – Total* (полное смещение); *Stress – Equivalent (von-Mises)* (эквивалентное напряжение); *Stress Tool – Max Equivalent Stress* (коэффициент запаса прочности). После этого можно нажать на кнопку *Solve*, чтобы запустить расчет (3).



Рис. 2.15. Выбор результатов расчета

9. Выводим получившиеся результаты:

– скрываем каркас и сетку (рис. 2.16): нажимаем ЛКМ на *Total Deformation* (1), выбираем *Display* (2) – *Edges* (3) – *No WireFrame* (4);



Рис. 2.16. Скрытие сетки

– увеличиваем цветовой шаг распределения градиента коэффициента запаса прочности (рис. 2.17): выделяем центральную область (1) и нажимаем на «+» несколько раз (2), после чего сместившийся цвет можно удалить подобным образом (3);



Рис. 2.17. Расширение цветового градиента

в результате должны получиться изображения, аналогичные тем,
 что представлены на рис. 2.18.





10. Выполняем параметрический анализ.

10.1. Поочередно выделяем полученные результаты (1) и включаем опцию параметра (2) напротив значений (рис. 2.19): максимальное значение полного смещения; максимальное значение эквивалентного напряжения и минимальное значение коэффициента запаса прочности.



Рис. 2.19. Включение параметра

10.2. Возвращаемся в окно Workbench и нажимаем на появившийся блок *Parameter Set*. В открывшемся окне вводим необходимые значения температуры (1), нажимаем *Update All Design Points* (2), чтобы запустить расчет всех указанных точек, и после окончания расчета увидим заполненную таблицу результатов (3) (рис. 2.20).

| Image: Second |    |                                       |         |   |                |                                    |                                  |                                  |                   |        |
|---|----|---------------------------------------|---------|---|----------------|------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|-------------------|--------|
| box v A X Outline of Al Parameters v A X Table of Design Points   |    |                                       |         |   |                |                                    |                                  |                                  |                   |        |
|   |    | A                                     |         |   | A              | В                                  | с                                | D                                | E                 |        |
| No toolbox items are applicable for the<br>current selection.   | 1  | ID                                    | P       | 1 | Name 💌         | P1 - Thermal Condition Magnitude 💌 | P2 - Total Deformation Maximum 💌 | P3 - Equivalent Stress Maximum 💌 | P4 - Safety Facto | r Mini |
|   | 2  | <ul> <li>Input Parameters</li> </ul>  |         | 2 | Units          | c 📕                                | mm                               | MPa                              |                   |        |
|   | 3  | 🖃 🚾 Static Structural (A1)            |         | 3 | DP 0 (Current) | 10                                 | 0,043823                         | 287,82                           | 0,97284           |        |
|   | 4  | ι <mark>ρ</mark> Ρ1                   | Therma  | 4 | DP 1           | 35                                 | 0,058282                         | 483,41                           | 0,57921           |        |
|   | *  | lp New input parameter                | New na  | 5 | DP 2           | 60                                 | 0,089852                         | 813,1                            | 0,34436           |        |
|   | 6  | <ul> <li>Output Parameters</li> </ul> |         | 6 | DP 3           | 85                                 | 0,12309                          | 1145,9                           | 0,24434           |        |
|   | 7  | 🖃 🚾 Static Structural (A1)            |         | * |                |                                    |                                  |                                  |                   |        |
|   | 8  | ₽ <b>2</b> P2                         | Total D |   |                | 1                                  | 3                                |                                  |                   |        |
|   | 9  | <b>P</b> 3                            | Equival |   |                | -                                  |                                  |                                  |                   |        |
|   | 10 | P4                                    | Safety  |   |                |                                    |                                  |                                  |                   |        |
|   | *  | New output parameter                  |         |   |                |                                    |                                  |                                  |                   |        |

Рис. 2.20. Параметрический анализ

11. Сохраняем проект в папку, ранее созданную студентом (названия папки и проекта должны быть на английском языке). Для этого нажимаем *File – Save As... – Сохранить*. Для того чтобы проект можно было копировать без опасений сбить прописанные пути файлов, необходимо создать его архив. Для этого нажимаем *File – Archive... – Сохранить – Archive*.

### Содержание отчета

1. Титульный лист.

2. Цель работы.

3. Описание работы (с исходной схемой и таблицей для своего варианта).

4. Этапы построения.

5. Результаты работы (библиотека материалов со своим материалом, геометрия, сетка, граничные условия, градиент распределения полного смещения, градиент распределения эквивалентных напряжений, градиент распределения запаса прочности, таблица параметрического анализа с результатами).

6. Вывод.

#### Контрольные вопросы

1. Назовите основные этапы выполнения данной работы.

2. Дайте определение ANSYS.

3. Какие приложения объединяет в себе ANSYS Workbench?

4. Для чего предназначено приложение Mechanical?

5. Какие задачи позволяет рассчитывать модуль Static Structural?

6. Для чего предназначено приложение Meshing?

7. Назовите граничные условия, реализуемые в статическом прочностном анализе? Поясните значение каждого из них.

# 2.2. Применение программного пакета ANSYS Fluid Flow (CFX) в инженерном анализе

*ANSYS CFX* – программный комплекс, сочетающий уникальные возможности анализа гидрогазодинамических процессов, многофазных потоков, химической кинетики, горения, радиационного теплообмена и многих других. Возможность работы под единой средой *Workbench* позволяет обмениваться данными и результатами напрямую с другими модулями *ANSYS*, позволяя проводить сопряженный жидкостно-структурный анализ. Широкий спектр физических моделей позволяет найти реальное решение любой промышленной задачи. В дополнение к этому, *ANSYS CFX* представляет открытую архитектуру и специальные средства для изменения всех возможностей. Входные данные и результаты могут сохраняться в различных форматах, что обеспечивает легкую интеграцию с существующими программными средствами.

Рабочее окно Ansys CFX представлено на рис. 2.21.

Окно просмотра модели включает в себя контактные параметры, временные; доменный раздел; параметры расчета; базу материалов; параметры анализа и т. д.

Отличительные особенности данного пакета:

 алгебраический многосеточный метод решения линеаризованных уравнений;

- совместное решение уравнений сохранения момента и массы;

практически линейная зависимость времени счета от размеров модели;

 высокие характеристики масштабируемости параллельных расчетов.



*Рис. 2.21.* Рабочее окно программы ANSYS CFX:
1 – панель управления;
2 – Дерево проекта (основные составляющие проекта);
3 – окно просмотра модели;
4 – окно сообщений системы

Расчет в ANSYS FLUID FLOW (CFX) подразумевает использование нескольких приложений, которые имеют собственные интерфейсы и между которыми происходит передача информации, возникающей в процессе постановки и решения задач гидродинамики. Такими приложениями являются следующие:

DesignModeler или SpaceClaim (представлены блоком Geometry);
 Meshing (представлен блоком Mesh);

3) *CFX-Pre* (представлен блоком *Setup*) – это физический препроцессор, который импортирует сетку, созданную в блоке *CFX-Mesh*. Это этап постановки задачи, на котором определяются физические модели, на основе которых будет происходить симуляция процесса, а также их основные параметры и характеристики. *CFX-Pre* позволяет определить граничные условия процесса (входные, выходные параметры), модели теплообмена и контактные интерфейсы;

4) *CFX-Solver Manager* (представлен блоком *Solution*) – это графический интерфейс пользователя, который позволяет задавать параметры для вычислений: управлять процессом решения *CFX-Solver* в интерактивном режиме, определять входные данные файла решателя, запускать или приостанавливать *CFX-Solver*, контролировать процесс решения задачи, устанавливать peшатель для проведения параллельных вычислений;

5) *CFD-Post* (представлен блоком *Result*) – это программа, предназначенная для анализа, визуализации и представления результатов, полученных в ходе решения задачи посредством *ANSYS CFX-Solver*. Для этого используются следующие средства:

– визуализация геометрии и исследуемых областей;

векторные графики для визуализации направления и величины потоков;

 визуализация изменения скалярных величин, таких как температура, давление, внутри исследуемой области.

Графики, изображения и видео, полученные в результате анализа решения задачи, можно сохранить в виде отдельных файлов.

# Лабораторная работа № 5 ГАЗОДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ТУРБИНЫ В ПРОГРАММЕ ANSYS

Цель работы: приобретение студентами навыков в использовании программного инструмента *ANSYS - Fluid Flow (CFX)* при проведении газодинамического анализа колеса турбины.

Описание работы: используя расчетный инструмент *Fluid Flow* (*CFX*), необходимо смоделировать движение газа в турбине (рис. 2.22).



Рис. 2.22. Расчетная схема

Известны: рабочее тело, скорость вращения ротора n, массовый расходом на входе G, температура на входе T и давлением на выходе P = 1 атм (табл. 2.2). Гравитационными силами можно пренебречь.

## Таблица 2.2

#### Исходные данные

|         |               | Число обо- | Расход      | Τ                            | Давление     |
|---------|---------------|------------|-------------|------------------------------|--------------|
| Вариант | Газ           | ротов n,   | на входе G, | Гемпература<br>на рудна Т. К | на выходе Р, |
|         |               | об/мин     | кг/с        | на входе 1, К                | атм          |
| 1       | CO2 Ideal Gas | 50000      | 1           | 320                          | 1            |
| 2       | O2 Ideal Gas  | 55000      | 1,2         | 340                          | 1,2          |
| 3       | Air Ideal Gas | 45000      | 0,9         | 340                          | 1            |
| 4       | Air Ideal Gas | 62000      | 1,2         | 360                          | 1,5          |
| 5       | CO2 Ideal Gas | 57000      | 0,8         | 320                          | 1,2          |
| 6       | O2 Ideal Gas  | 48000      | 1           | 325                          | 1,6          |
| 7       | Air Ideal Gas | 50000      | 1           | 330                          | 1            |
| 8       | NH3 Ideal Gas | 52000      | 1,2         | 310                          | 1,2          |
| 9       | CO2 Ideal Gas | 60000      | 0,9         | 320                          | 1            |
| 10      | O2 Ideal Gas  | 53000      | 0,8         | 315                          | 1,5          |
| 11      | Air Ideal Gas | 55000      | 1           | 325                          | 1,2          |
| 12      | NH3 Ideal Gas | 51000      | 1           | 320                          | 1,6          |
| 13      | Air Ideal Gas | 45000      | 1,2         | 360                          | 1,5          |
| 14      | O2 Ideal Gas  | 62000      | 0,8         | 320                          | 1,2          |
| 15      | Air Ideal Gas | 57000      | 1           | 325                          | 1,6          |
| 16      | NH3 Ideal Gas | 48000      | 1           | 330                          | 1            |
| 17      | Air Ideal Gas | 50000      | 1,2         | 310                          | 1,2          |
| 18      | O2 Ideal Gas  | 52000      | 0,9         | 320                          | 1            |
| 19      | Air Ideal Gas | 60000      | 0,8         | 315                          | 1,5          |
| 20      | NH3 Ideal Gas | 53000      | 1           | 325                          | 1,2          |
| 21      | CO2 Ideal Gas | 50000      | 1,2         | 360                          | 1,5          |
| 22      | O2 Ideal Gas  | 55000      | 0,8         | 320                          | 1,2          |
| 23      | Air Ideal Gas | 47000      | 1           | 325                          | 1,6          |
| 24      | Air Ideal Gas | 60000      | 1           | 330                          | 1            |
| 25      | CO2 Ideal Gas | 57000      | 1,2         | 310                          | 1,2          |
| 26      | O2 Ideal Gas  | 45000      | 0,9         | 320                          | 1            |
| 27      | Air Ideal Gas | 50000      | 0,8         | 315                          | 1,5          |
| 28      | NH3 Ideal Gas | 52000      | 1           | 325                          | 1,2          |
| 29      | Air Ideal Gas | 62000      | 1           | 330                          | 1            |
| 30      | O2 Ideal Gas  | 53000      | 1,2         | 310                          | 1,2          |

## Порядок выполнения лабораторной работы

1. Запускаем ANSYS Workbench и добавляем модуль Fluid Flow (CFX) двойным нажатием ЛКМ в разделе Toolbox (рис. 2.23).



Рис. 2.23. Добавление модуля

2. Импортируем геометрию:

- дважды нажимаем ЛКМ на блок *Geometry* в окне Workbench;

- в появившемся окне нажимаем *File - Open*;

– для того чтобы найти созданную геометрию, переходим в папку с ней и выбираем отображение всех форматов – *All Files* (\*.\*). Нажимаем на созданную геометрию с расширением «.x\_t» в папке лабораторной работы и жмем кнопку *Открыть*. Импортированная геометрия показан на рис. 2.24;

– после этого окно геометрии можно закрыть.



Рис. 2.24. Импорт геометрии

3. Создаем сеточную модель и присваиваем имена поверхностям.

3.1. Создаем сеточную модель (рис. 2.25):

- дважды нажимаем ЛКМ на блок *Mesh* в окне *Workbench*;
- нажимаем ПКМ на раздел *Mesh* (1);

– напротив размера элемента (*Element Size*) устанавливаем значение 2 мм (2);

- нажимаем *Generate* (3) и на экране появляется сеточная модель.



Рис. 2.25. Создание сетки

3.2. Присваиваем имена поверхностям:

– нажимаем один раз ЛКМ на поверхность 1 (рис. 2.26), после чего один раз нажимаем ПКМ на синюю область. В открывшейся вкладке выбираем раздел *Create Named Selection*. После чего в появившемся окне вводим имя поверхности «inlet»;

– повторяем приведенную выше операцию для поверхности 2 – «outlet»,
 3 – «wall».



Рис. 2.26. Присвоение имен поверхностей

3.3. Нажимаем ПКМ на *Mesh* и выбираем *Update*. После этого окно *Meshing* можно закрыть.

4. Задаем граничные условия и параметры расчета.

4.1. Заходим в расчетных блок. Дважды нажимаем ЛКМ на блок *Setup* в окне *Workbench*.

4.2. Импортируем материал рабочей среды согласно варианту (рис. 2.27).



Рис. 2.27. Импорт газа

Для этого нажимаем ПКМ на вкладку *Materials* (1) в дереве проекта и выбираем *Import Library Data* (2). В появившемся окне раскрываем каталог идеальных газов *Calorically Perfect Ideal Gases* (3), выбираем газ, соответствующий своему варианту, и нажимаем  $O\kappa$  (4).

*Примечание:* для *Air Ideal Gas* данную операцию можно пропустить, так как данный газ присвоен по умолчанию.

4.3. Настраиваем модель работы турбоагрегата:

– в верхней панели окна *CFX-Pre* нажимаем *Tools – Turbo Mode...*;

– в окне *Basic Settings* выбираем тип машины (*Machine Type*) – *Radial Turbine* и ось вращения (*Rotation Axis*) – *X*. После чего можно нажать кнопку *Next*;

в окне *Component Definition* нажимаем на *R1*, выбираем тип (*Type*)
 Rotating и выставляем число оборотов в минуту согласно своему варианту *n*. После чего можно нажать кнопку *Next*;

-в окне *Physics Definition* выставляем следующие параметры (рис. 2.28): согласно своему варианту выбираем движущийся газ в строке *Fluid* (1); устанавливаем исходное давление (*Reference Pressure*), равное 0 атмосфер (2); теплопередачу (*Heat Transfer*) – суммарную энергию (*To-tal Energy*) (3); тип турбулентного течения (*Turbulence*) – *k-Epsilon* (4); параметры входа и выхода (*Inflow/Outflow Boundary Templates*) – массу на входе и давление на выходе (*Mass Flow Inlet P-Static Outlet*) (5); полную температуру на входе (*T-Total*) – вводится значение температуры *T* (6), согласно своему варианту (табл. 2.2); массовый расход на входе (*Mass Flow Rate*) – вводится значение массового расхода *G* (7), согласно своему варианту (табл. 2.2); статичное давление на выходе (*P-Static*) – вводится значение давления *P* (8), согласно своему варианту (табл. 2.2). После чего можно нажать кнопку *Next* (9);

| Physics Definition  |             | *\ 🖸 🕂 🔍 🔍 🍭 👩 🗆 🔻 |
|---|-------------|--------------------|
| Fluid CO2 Ideal Gas 1<br>Model Data   | •           | View 1 🔻           |
| Reference Pressure 0 [atm]<br>Heat Transfer Total Energy  | 2<br>• 3    |                    |
| Turbulence     k-Epsilon       Inflow/Outflow Boundary Templates       O None       O P-Total Inlet P-Static Outlet       O P-Total Inlet Mass Flow Outlet  | <u> </u>    |                    |
| Mass Flow Inlet P-Static Outlet         5           Inflow         T-Total         310 [K]         6           Mass Flow         Per Component         Mass Flow Rate         1 [kg s^-1]         7 |             |                    |
| Flow Direction Normal to Boundary Outflow P-Static 1 [atm] 8  | <b>-</b>    |                    |
| Solver Parameters   | Ŧ           |                    |
| Cancel Sack Next  | 9<br>Finish | 0                  |

Рис. 2.28. Физическая модель

– настройку интерфейсов в окне *Interface* можно пропустить, так как у нас нет отдельных контактирующих геометрий;

– в окне *Boundary Definition* сверяем выбранные для входа и выхода поверхности. Если п. 4 не был пропущен, то все должно быть присвоено автоматически. После чего можно нажать кнопку *Next*;

– в следующем окне нажимаем *Finish*. В появившемся окне выбираем *Yes*.

5. Устанавливаем количество итераций. Для этого дважды нажимаем ЛКМ на *Solver Control* (1) и в появившемся окне вводим *500* итераций (2), после чего нажимаем  $O\kappa$  (3). Окно CFX-Pre можно закрыть.

6. Запускаем решатель:

– дважды нажимаем ЛКМ на блок Solution в окне Workbench;

- в появившемся окне жмем *Start Run*;

– после окончания расчета появится предупреждение, в котором нужно будет нажать *Ok*;

– теперь окно Solver Manager можно закрыть.

7. Выводим результаты расчета.

7.1. Заходим в блок результатов. Дважды нажимаем ЛКМ на блок *Result* в окне *Workbench*.

7.2. Настраиваем отображение легенды результатов (рис. 2.29). Для этого нажимаем на Default Legend View (1), выбираем Fixed (2), вводим значение 1 (3) и нажимаем Apply (4). Данные изменения позволят выводить результаты в более понятной форме (пример: будет значение «317.6» вместо «3.318е+03»).

| > 😒 Mesh Regions                 |
|----------------------------------|
| V 🙆 User Locations and Plots     |
| Contour 1                        |
| Contour 2 1                      |
| Default Transform                |
| Default Legend View 1            |
| Surface Group 1                  |
| ✓                                |
| Report                           |
|                                  |
| Details of Default Legend View 1 |
| Definition Appearance            |
| Sizing Parameters                |
|                                  |
| Size 0.6                         |
| Aspect 0.07                      |
| Text Parameters 3 2              |
| Precision 1 🗧 Fixed 🔻            |
| Value Ticks 5                    |
| Font Sans Serif 💌                |
| Color Mode Default 🔻             |
| Colour 🗸                         |
| Apply 4 Reset Defaults           |

Рис. 2.29. Настройка истории результатов

7.3. Выводим распределение давлений газа в пристеночной области турбины (рис. 2.30). Для этого нажимаем иконку *Contour* (1), вводим название «Pressure» (2), нажимаем *OK* (3), в выпадающем окне

выбираем*Pressure* (4), вводим число цветовых ступеней – 33 (5) и нажимаем *Apply* (6).



Рис. 2.30. Распределение давления

7.4. Повторяем п. 7.3 для температуры (Temperature) (рис. 2.31).



Рис. 2.31. Распределение температуры

7.5 Выводим линии распределения скоростей (рис. 2.32). Для этого нажимаем иконку *Stream Line* (1), вводим название «Velocity» (2), нажимаем *OK* (3), выбираем начальную поверхность *R1 Inlet* (4), вводим число стартовых точек – 200 (5) и нажимаем *Apply* (6). После этого работа в окне *CFD-Post* окончена.



Рис. 2.32. Линии скорости

8. Сохраняем проект в папку, ранее созданную студентом (названия папки и проекта должны быть на английском языке). Для этого в окне *Workbench* нажимаем *File – Save As... – Сохранить*. Для того чтобы проект можно было копировать без опасений сбить прописанные пути файлов, необходимо создать его архив. Для этого нажимаем *File – Archive... – Сохранить – Archive.* 

### Содержание отчета

1. Титульный лист.

2. Цель работы.

3. Описание работы (с исходной схемой и таблицей для своего варианта).

4. Этапы построения.

5. Результаты работы (изображения распределения давления; распределения температуры; линии скорости).

6. Вывод.

# Контрольные вопросы

1. Основные этапы выполнения работы.

2. Что такое ANSYS Fluid Flow (CFX)?

3. Отличительные особенности ANSYS Fluid Flow (CFX).

4. Из каких блоков состоит модуль ANSYS Fluid Flow (CFX)?

5. Для чего предназначены DesignModeler или SpaceClaim?

6. Что представляет собой ANSYS CFX-Solver Manager?

7. Назовите основные инструменты визуализации расчетов в CFD-Post.

# ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящем практикуме представлены пять лабораторных работ, которые могут быть использованы при изучении дисциплины «Основы машиностроительных компьютерных технологий» студентами, обучающимися по направлениям 18.03.02 «Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической тех-нологии, нефтехимии и биотехнологии», 20.05.01 «Пожарная безопасность», 20.03.01 «Техносферная безопасность», 15.03.02 «Технологические машины и оборудование» и 16.03.03 «Холодильная, криогенная техника и системы жизнеобеспечения».

Материал, изложенный в практикуме, рассчитан на освоение таких программных продуктов, как КОМПАС и ANSYS, приобретение навыков подготовки чертежей, спецификаций, схем, а также моделирования и проведения численных исследований.

Библиографический список, представленный в конце практикума, будет полезен при выполнении и оформлении лабораторных работ.

Студент в ходе выполнения лабораторных работ может продемонстрировать свой уровень квалификационной подготовки и наиболее глубоко изучить теорию на примере: создания и оформления сборочного чертежа и спецификации, создания и оформления технологической схемы, построения трехмерной модели в программе КОМПАС, а также прочностного и газодинамического анализа в программе ANSYS.

# БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ Р 2.307-2011. Нанесение размеров и предельных отклонений : межгосударственный стандарт : издание официальное : Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 3 августа 2011 г. N 211-ст межгосударственный стандарт ГОСТ 2.307-2011 введен в действие в качестве национального стандарта Российской Федерации с 1 января 2012 г. : введен впервые : дата введения 2012-01-01 / разработан АО "Кодекс". – Москва : Стандартинформ, 2012. – 34 с. – Текст : непосредственный.

2. ГОСТ Р 2.701-2008. Нанесение размеров и предельных отклонений : межгосударственный стандарт : издание официальное : Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 25 декабря 2008 г. N 702-ст межгосударственный стандарт ГОСТ 2.701-2008 введен в действие в качестве национального стандарта Российской Федерации с 1 июля 2009 г. : введен впервые : дата введения 2009-07-01 / разработан ЗАО "Кодекс". – Москва : Стандартинформ, 2012. – 16 с. – Текст : непосредственный.

3. Калашников, А. М. Моделирование и анализ компрессорного и теплообменного оборудования с применением компьютерных технологий [Электронный ресурс] : практикум : в 2 ч. / А. М. Калашников. – Омск : Изд-во ОмГТУ, 2017. – ISBN 978-5-8149-2533-6. – Ч. 1 : Трехмерное моделирование. – 2017. – 1 эл. опт. диск (CD-ROM). – ISBN 978-5-8149-2534-3.

4. Калашников, А. М. Моделирование и анализ компрессорного и теплообменного оборудования с применением компьютерных технологий [Электронный ресурс] : практикум : в 2 ч. / А. М. Калашников. – Омск : Изд-во ОмГТУ, 2017. – ISBN 978-5-8149-2533-6. – Ч. 2 : Компьютерные

технологии в инженерном анализе. – 2017. – 1 эл. опт. диск (CD-ROM). – ISBN 978-5-8149-2535-0.

5. Выполнение и защита выпускной квалификационной работы бакалавра [Электронный ресурс] : А. М. Калашников [и др.]. – Омск : Изд-во ОмГТУ, 2019. – 1 эл. опт. диск (CD-ROM). – ISBN 978-5-8149-2845-0.

6. Инженерная графика : учеб. пособие / И. Ю. Скобелева, И. А. Ширшова, Л. В. Гареева, В. В. Князьков. – Нижний Новгород : НГТУ им. Р. Е. Алексеева, 2008. – 183 с. ISBN 978-5-93272-617-4.

## ПРИЛОЖЕНИЕ

### ПРИМЕР ОФОРМЛЕНИЯ ОТЧЕТА

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Омский государственный технический университет»

Кафедра «Холодильная и компрессорная техника и технология»

Дисциплина «Прикладные программы анализа технологических систем и процессов»

Лабораторная работа №4 на тему: «ПРОЧНОСТНОЙ АНАЛИЗ В ПРОГРАММЕ ANSYS»

Вариант 1

Выполнил: ст. гр. НИ-191 Иванов И. И. Проверил: ст. пр. каф. ХКТТ Калашников А. М.

Омск, 2022

#### Цель работы:

Изучение основных этапов проведения статического прочностного анализа в среде ANSYS Workbench с использованием инструмента Parameters; приобретение навыков в использовании программного инструмента ANSYS Workbench – Static Structural при проведении прочностного анализа корпуса подшипника.

#### Описание работы:

Используя модуль Static Structural и инструмент Parameters, необходимо рассчитать минимальное значение коэффициента запаса прочности (Safety Factor), максимальное значение эквивалентного перемещения (Equivalent Stress) и максимальное значение полного перемещения (Total Deformation) при разных значениях величин температуры корпуса подшипника (рис. 1).



Температура корпуса подшипника = Т

Рис. 1. Исходная схема

Табл. 1. Исходные данные

| Вариант | Материал     | $F_{1x} = F_{2x}$ , $\kappa H$ | F <sub>ly</sub> , кН | F <sub>2y</sub> , кН | T, ⁰C |
|---------|--------------|--------------------------------|----------------------|----------------------|-------|
| 1       | Copper Alloy | 1                              | 8                    | 10                   | 10    |

#### Порядок выполнения лабораторной работы:

 Запускаем ANSYS Workbench и добавляем модуль Static Structural двойным нажатием ЛКМ в разделе Toolbox.

 Дважды нажимаем ЛКМ на блок Engineering Data (1), после чего жмем на Engineering Data Sources (2). Выбираем библиотеку General Materials (3) и









|   | A              | В                                      | с                                    | D                                 | E                                |
|---|----------------|--|--------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|
| 1 | Name 💌         | P1 - Thermal<br>Condition<br>Magnitude | P2 - Total<br>Deformation<br>Maximum | P3 - Equivalent<br>Stress Maximum | P4 - Safety<br>Factor<br>Minimum |
| 2 | Units          | с 💌                                    | mm                                   | MPa                               |                                  |
| 3 | DP 0 (Current) | 10                                     | 0,043823                             | 287,82                            | 0,97284                          |
| 4 | DP 1           | 35                                     | 0,058282                             | 483,41                            | 0,57921                          |
| 5 | DP 2           | 60                                     | 0,089852                             | 813,1                             | 0,34436                          |
| 6 | DP 3           | 85                                     | 0,12309                              | 1145,9                            | 0,24434                          |
| * |                |  |                                      |                                   |                                  |

Рис. 11. Расчёт в блоке Parameters



Рис. 12. Окно ANSYS Workbench

Вывод: Изучены основные этапы проведения статического прочностного анализа в среде ANSYS Workbench с использованием инструмента Parameters; приобретены навыки в использовании программного инструмента ANSYS Workbench – Static Structural при проведении прочностного анализа корпуса подшипника.

В результате выполнения лабораторной работы были получены следующие изображения: выбор материала; импорт 3D-модели; генерация сетки; задание граничных условий, полное смещение; эквивалентные напряжения; коэффициент запаса прочности; расчёт в блоке Parameters; окно ANSYS Workbench.

В результаты выпиленных расчетов были полученные следующие интервалы искомых характеристик (табл. 2).

| Тепловое<br>состояние, ⁰С | Максимальное<br>полное смещение, мм | Максимальное<br>эквивалентное<br>напряжение, МПа | минимальный<br>коэффициент<br>запаса прочности |  |
|---------------------------|-------------------------------------|--|--|--|
| 10                        | 0,043823                            | 287,82   | 0,97284  |  |
| 35                        | 0,0582                              | 483,41   | 0,57921  |  |
| 60                        | 0,089852                            | 813,1  | 0,34436  |  |
| 85                        | 0,12309                             | 1145,9   | 0,24434  |  |

Таблица 2. Результаты