

УДК 004.925.84: 378.147
 DOI: 10.12737/2308-4898-2023-11-4-52-60

Н.В. Палий

Канд. техн. наук, доцент,
 Московский государственный технический университет
 им. Н.Э. Баумана,
 Россия, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1

Системный подход к обучению студентов возможностям современных систем автоматизированного проектирования

Аннотация. В статье описан системный подход, который используется на кафедре «Инженерная графика» в МГТУ им. Н.Э. Баумана для обучения студентов возможностям современных систем автоматизированного проектирования.

Представлена методика обучения основам создания твердотельных геометрических моделей деталей и чертежей в системе «Компас-3D», основанная на системном подходе. Описана структура и содержание занятий. Учебные материалы разработаны на основании имеющихся у студентов знаний по стереометрии, полученных в школе, и знаний, получаемых при параллельном изучении раздела инженерной графики «Проекционное черчение».

Приведены примеры практических заданий для самостоятельной работы студентов. Обучение начинается с построения плоского контура, который лежит в основе трехмерной модели. При построении контура студенты отрабатывают использование операций для создания основных примитивов, из которых состоит контур, и наложение геометрических и размерных зависимостей на примитивы. Построение твердотельных моделей начинается с моделирования простых геометрических тел: призма, пирамида, тело вращения. Это позволяет сосредоточить внимание студентов на отработке формообразующих операций, лучше ориентироваться в панелях инструментов. Затем студенты закрепляют полученные знания и навыки при построении моделей более сложных форм, приближенных по конструкции к машиностроительным деталям двух классов: «тело вращения» и «не тело вращения». По построенным моделям студенты создают электронные чертежи. При этом отрабатываются: создание на чертеже изображений – видов, разрезов, сечений; нанесение размеров с сохранением ассоциативной связи с моделью детали; использование элементов оформления чертежа.

Приведены примеры контрольных заданий по редактированию созданных моделей и чертежей, необходимые для приобретения студентами важных для инженерной практики навыков.

Отмечено, что полученные знания и навыки могут использоваться студентами при дальнейшем обучении. Предложенная методика может быть рекомендована для использования в системе среднего и среднего профессионального образования.

Ключевые слова: системный подход, компьютерная графика, твердотельное моделирование, геометрическая модель детали, электронный чертеж, структура занятий.

N.V. Paliy

Ph.D. of Engineering, Associate Professor,
 Bauman Moscow State Technical University,
 5, 2nd Baumanskaya, Moscow, 105005, Russia

A Systematic Approach to Teaching Students the Capabilities of Modern Computer-Aided Design Systems

Abstract. The article describes a systematic approach that is used at the Department of Engineering Graphics at Bauman Moscow State Technical University to teach students the possibilities of modern computer-aided design systems.

A methodology for teaching the basics of creating solid-state geometric models of parts and drawings in the Compass-3D system based on a systematic approach is presented. The structure and content of classes are described. The educational materials are developed on the basis of the students' knowledge of stereometry acquired at school and the knowledge gained during the parallel study of the engineering graphics section "Projection drawing".

Examples of practical tasks for students' independent work are given. The training begins with the construction of a flat contour, which is used as basis of a three-dimensional model. When constructing a contour, students practice to create the basic primitives that make up the contour, and superimposing geometric and dimensional dependencies on the primitives. The construction of solid-state models begins with the modeling of simple geometric bodies: a prism, a pyramid, a body of rotation. This allows students to focus on practicing shaping operations, and to better navigate the toolbars. Then, students consolidate their knowledge and skills in building models of more complex shapes, similar in design to mechanical engineering parts of two classes: "body of rotation" and "non-body of rotation". Students create electronic drawings based on the constructed models. At the same time, the following is being worked out: creating images in the drawing – views, sections, sections; applying dimensions while maintaining an associative connection with the part model; using drawing design elements.

Examples of control tasks for editing created models and drawings are given, which are necessary for students to acquire skills important for engineering practice.

It is noted that the acquired knowledge and skills can be used by students in further education. The proposed methodology can be recommended for use in the system of secondary and secondary vocational education.

Keywords: system approach, computer graphics, solid-state modeling, geometric model of a part, electronic drawing, structure of classes.

Введение

Компьютерная графика с использованием систем автоматизированного проектирования (САПР) является одной из базовых дисциплин современного инженерно-технического образования [12; 20; 23; 24; 27; 28]. Наиболее перспективным в учебном процессе и в конструкторской практике является использование САПР для твердотельного моделирования изделий и создания электронных чертежей по моделям [4; 8; 9–11; 19; 22; 32; 33].

Обычно на начальном уровне обучение твердотельному моделированию начинают с создания моделей предметов, приближенных к машиностроительным деталям [2; 5; 21; 30], считая, что чем больше конструктивных элементов содержит модель, тем успешнее обучение. При этом мало времени уделяется приобретению основных навыков работы в САПР, например, использованию ограничений при создании элементов модели, которые обеспечивают геометрическую целостность модели при ее редактировании, эффективному использованию ассоциативных связей модели и чертежа. На приобретение студентами навыков редактирования модели времени не выделяется, хотя процесс редактирования в инженерной практике занимает существенное место.

Обучение компьютерной графике, как правило, проводится на младших курсах. При этом в большинстве случаев не учитываются знания студентов по начертательной геометрии и инженерной графике, на основании которых должны разрабатываться учебные материалы по компьютерной графике [12; 26; 29]. Не учитывается также практически полное отсутствие графической подготовки будущих студентов в школе [4; 31]. В результате у студентов складываются бессвязные отрывочные знания и навыки, использование которых в дальнейшем обучении на старших курсах и в инженерной практике малоэффективно [4; 6; 7; 31].

Современные методы обучения различным дисциплинам должны строиться на системном подходе, который обеспечивает наиболее полное и целостное освоение студентами дисциплины [3; 25].

В МГТУ им. Н.Э. Баумана в курсе компьютерной графики системный подход к обучению основам создания твердотельных моделей деталей и электронных чертежей рассматривается как способ упорядочивания получения студентами знаний и навыков моделирования, представляет собой систему целостного комплекса взаимосвязанных элементов с целью их более эффективного использования.

Выделим основополагающие принципы системного подхода к обучению основам создания твердотельных моделей деталей и электронных чертежей:

Принцип целостности предполагает рассматривать компьютерную графику как отдельную дисциплину и в то же время в совокупности с другими смежными дисциплинами, изучаемыми студентами на старших курсах. При обучении учитывается дальнейшее использование студентами полученных знаний и навыков при выполнении заданий по инженерной графике, при разработке курсовых и дипломного проектов.

Принцип структуризации предусматривает последовательность этапов обучения студентов основам

создания твердотельных моделей деталей и электронных чертежей от простого к сложному, начиная с простых примеров с учетом имеющихся и получаемых по другим дисциплинам знаний. Использование на начальном этапе обучения простых геометрических тел позволяет сосредоточить внимание студентов на отработке операций и лучше ориентироваться в панелях инструментов, а затем на более сложных деталях закрепить полученные навыки [26].

Принцип иерархичности предусматривает обучение в соответствие с иерархией уровней создания модели и электронного чертежа, в которой элементы нижнего уровня подчинены элементам более высокого уровня. Например, электронный чертеж создается по модели, модель состоит из элементов модели, элемент модели состоит из контура, к которому применяется операции формообразования, контур состоит из примитивов (отрезков, дуг, прямоугольников и т.д.).

Принцип множественности предполагает использовать при обучении множество подходов к построению одной и той же модели детали. Это способствует развитию навыков обучающихся и помогает им находить оптимальный способ решения поставленной задачи.

В МГТУ им. Н.Э. Баумана на кафедре «Инженерная графика» обучение компьютерной графике проводится в два этапа:

- 1) создание геометрических твердотельных моделей и электронных чертежей предметов (деталей);
- 2) создание геометрических твердотельных моделей и электронных чертежей сборочных единиц.

В статье рассматривается методика обучения в САПР «Компас-3D» по созданию геометрических твердотельных моделей и электронных чертежей предметов (деталей) для студентов первого семестра. Методика разработана на основании имеющихся у студентов знаний по стереометрии, полученных в школе, и знаний, получаемых студентами при параллельном изучении первого раздела инженерной графики «Проекционное черчение».

Содержание и форма занятий представляют собой развитие и адаптацию используемой на кафедре структуры занятий по компьютерной графике для студентов второго семестра, прошедших обучение по теме «Проекционное черчение» и изучающих параллельно с компьютерной графикой тему «Эскизы деталей» [1; 15–18].

Аудиторные занятия рассчитаны на 17 академических часов. Каждое занятие содержит:

- теоретическую часть — преподаватель дает пояснения и последовательно выполняет тренировочное задание, которое за ним повторяют студенты;

- практическую часть — студенты выполняют самостоятельную работу для закрепления знаний и навыков.

Занятия по компьютерной графике содержат следующие темы.

1. Термины и определения.
2. Построение плоского контура.
3. Создание твердотельных геометрических моделей предметов (деталей).
4. Создание электронных чертежей предметов (деталей).

Рассмотрим основные положения, указанных тем.

Термины и определения

В данной теме, для студентов впервые приступающим к изучению компьютерной графики, представлены обзор САПР, стандарты Единой системы конструкторской документации (ЕСКД) на выполнение электронных документов (моделей, чертежей), интерфейс САПР «Компас-3D».

При изучении стандартов ЕСКД студенты знакомятся с основными терминами и определениями, таким как: электронные конструкторские документы, модель изделия, электронная модель изделия, электронная модель детали, электронная геометрическая модель изделия; с типами геометрических моделей — каркасные, поверхностные, твердотельные.

Рассматривается структура геометрической твердотельной модели изделия, которая состоит из элементов модели, каждый элемент модели состоит из контуров, каждый контур — из простейших геометрических объектов — примитивов.

Представлено свойство геометрической целостности модели детали [13] и вытекающее из него требование к электронной геометрической модели: при внесении изменений (редактировании) модель, должна корректно перестраиваться, сохраняя свою геометрическую форму и положение в пространстве.

Показано, что создание геометрических твердотельных моделей деталей (предметов) ведется в двух режимах: в режиме «Эскиз», в котором с помощью примитивов создается плоский контур, и в режиме «Модель», в котором с помощью операций по перемещению контура создаются элементы модели (модель детали).

Построение плоского контура

В основе построения трёхмерной модели лежит плоский контур, который состоит из примитивов (отрезок, окружность, правильный многоугольник и др.).

При построении контура должны учитываться следующие требования: контур должен быть замкнут, не должен содержать пересекающихся и наложенных

друг на друга линий, не должен содержать степеней свободы, т.е. должен быть полностью определен, что достигается наложением ограничений на примитивы. Последнее требование обеспечивает геометрическую целостность модели [13].

Рекомендуются следующие этапы построения контура.

1. Разбиение контура на примитивы.
2. Выбор начального примитива и привязка его к началу координат.
3. Определение последовательности построения примитивов контура.
4. Последовательное построение примитивов и наложение геометрических и размерных зависимостей на каждый примитив контура.

Для закрепления знаний и навыков в использовании основных примитивов, размерных и геометрических зависимостей студенты выполняют самостоятельную работу по созданию плоского контура (рис. 1).

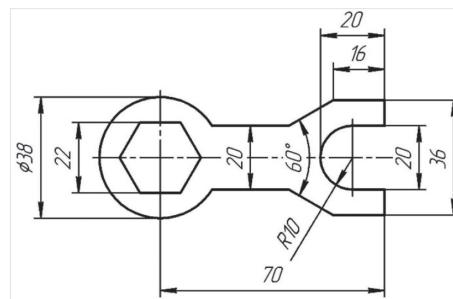


Рис. 1

Контур, представленный на рис. 1, содержит примитивы «Отрезок», «Дуга», «Многоугольник». При построении используются геометрические ограничения «Выравнивание по горизонтали / вертикали», «Параллельность», «Перпендикулярность», «Равенство», «Объединить точки». При нанесении размерных зависимостей используются линейные, угловой, радиальный и диаметральный размеры.

После выполнения работы студент выполняет контрольное задание, по редактированию построенного контура, изменив два размера по указанию преподавателя (например, изменить угол 60° на 45° , радиус дуги окружности с 10 мм на 14 мм). При этом контур должен корректно перестроиться, сохранив свою геометрическую форму и положение на плоскости.

Создание твердотельных геометрических моделей предметов (деталей)

В данной теме студенты знакомятся с этапами построения моделей, операциями для создания моделей (элементов моделей), элементами вспомога-

тельной геометрии («Точка», «Смещенная плоскость»), операциями для создания массивов.

Этапы построения твердотельных моделей предметов (деталей):

- 1) разделение предмета на элементы, из которых может состоять модель;
- 2) определение последовательности построения элементов модели;
- 3) для каждого элемента модели в соответствие с последовательностью:
 - выбор плоскости и создание на ней контура в режиме «Эскиз»;
 - создание элемента модели с помощью операций построения в режиме «Модель».

Операции по созданию модели (элемента модели) можно разделить на две группы: базовые и конструкционные.

Базовые операции — универсальные операции для построения модели (элемента модели) детали: «Элемент выдавливания», «Элемент вращения», «Элемент по сечениям», «Элемент по траектории». Операции определяются разными перемещениями замкнутого контура. Во всех базовых операциях для построения элемента модели применены операции булевой алгебры: объединение, вычитание и пересечение.

Навыки в использовании базовых операций студенты приобретают при построении моделей простых геометрических тел (рис. 2): для призмы используется команда «Элемент выдавливания» (рис. 2, а), для пирамиды используется команды «Элемент по сечениям», «Элемент выдавливания» (рис. 2, б), для тела вращения используется команды «Элемент вращения», «Элемент выдавливания» (рис. 2, в). Для построения каждой модели требуется создать два контура на разных плоскостях, так как каждая модель состоит из двух элементов.

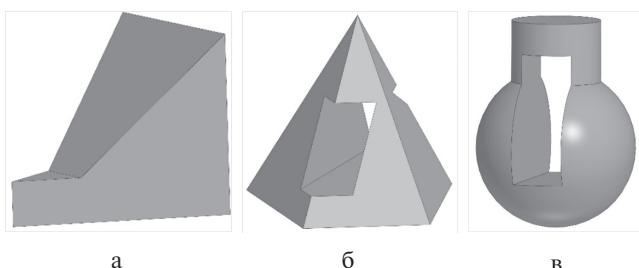


Рис. 2

Конструкционные операции — операции для создания конструктивных элементов моделей деталей: «Отверстие», «Ребро жесткости», «Скругление», «Фаска», «Оболочка» и др.

Применение базовых и конструкционных операций прорабатывается при построении моделей простых деталей двух классов: «тело вращения» (рис. 3, а) и «не тело вращения» (рис. 3, б). По своей конструк-

ции модели на рис. 3 приближены к машиностроительным деталям и содержат большее количество элементов модели (пять элементов) по сравнению с моделями на рис. 2.

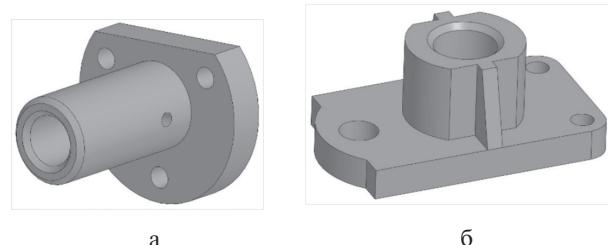


Рис. 3

При построении модели класса «тело вращения» (рис. 3, а) студенты используют базовые операции «Элемент вращения», «Элемент выдавливания», конструкционные операции «Отверстие простое», «Фаска», «Массив по концентрической сетке». При построении модели класса «не тело вращения» — базовую операцию «Элемент выдавливания», конструкционные операции «Отверстие простое», «Ребро жесткости», «Фаска», «Скругление», операцию «Зеркальный массив».

Модели деталей, создаваемые студентами, должны обладать свойством геометрической целостности, т.е. все контуры каждой модели должны быть полностью определены.

После построения каждой модели студент выполняет контрольное задание, по редактированию модели, изменив два размера по указанию преподавателя. Один из размеров задается для изменения размерной зависимости одного из контуров модели, второй — для изменения параметров операции перемещения контура. Например, для модели класса «тело вращения» (рис. 3, а) требуется изменить диаметр поперечного отверстия с 4 мм на 8 мм и изменить глухое отверстие диаметром 14 мм на сквозное. При редактировании студент должен найти в «Дереве построений» модели нужный элемент, перейти в режим редактирования и изменить требуемый параметр. При этом модель должна корректно перестроиться, сохранив свою геометрическую форму и положение в пространстве.

Выполняя контрольное задание, студенты учатся работать с «Деревом построений», получая необходимые навыки по редактированию модели. При этом закрепляют знания о структуре модели, взаимосвязях между элементами модели и необходимости наложения ограничений при построении модели.

Создание электронных чертежей предметов (деталей)

При твердотельном моделировании создание электронного чертежа детали (предмета) основано на

использовании ассоциативной связи с моделью детали (предмета), которая обеспечивает получение готовых изображений на чертеже, автоматическую постановку размерных чисел при нанесении размеров на чертеже, а также автоматическое редактирование чертежа при внесении изменений в модель детали.

Этапы создания электронного чертежа детали (предмета):

- 1) выбор формата листа и масштаба изображений;
- 2) выбор первого изображения на чертеже. При создании электронного чертежа главный вид не всегда целесообразно задавать первым, например, когда вместо вида предусматривается разрез;
- 3) создание основных (проекционных) видов или разрезов;
- 4) создание дополнительных и местных видов, разрезов;
- 5) выполнение выносных элементов;
- 6) нанесение размеров;
- 7) заполнение основной надписи.

При выполнении чертежей деталей студенты используют разные форматы листа (A4, A3) и масштабы изображений (1:1, 2:1). Создание изображений на электронном чертеже отрабатывается в соответствии с [14]. Нанесение размеров на чертеже выполняется в параметрическом режиме для сохранения ассоциативной связи размеров на чертеже с моделью.

При выполнении изображений на электронном чертеже призмы (рис. 4) отрабатывается создание основных видов в проекционной связи.

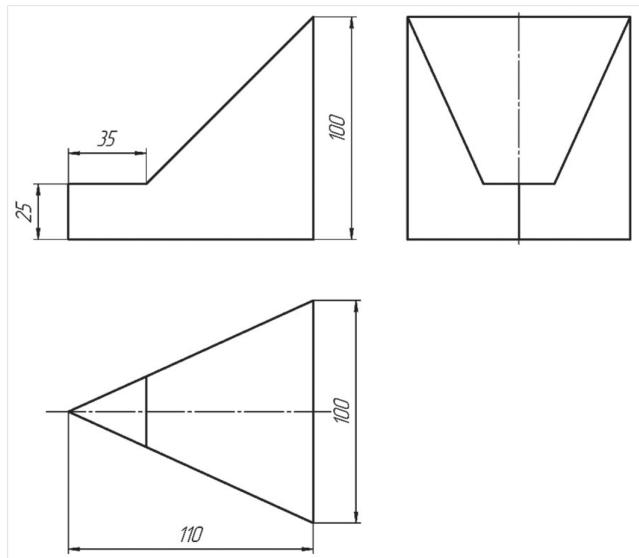


Рис. 4

При выполнении изображений на электронном чертеже пирамиды (рис. 5) отрабатывается создание вида и простых полных разрезов с обозначением.

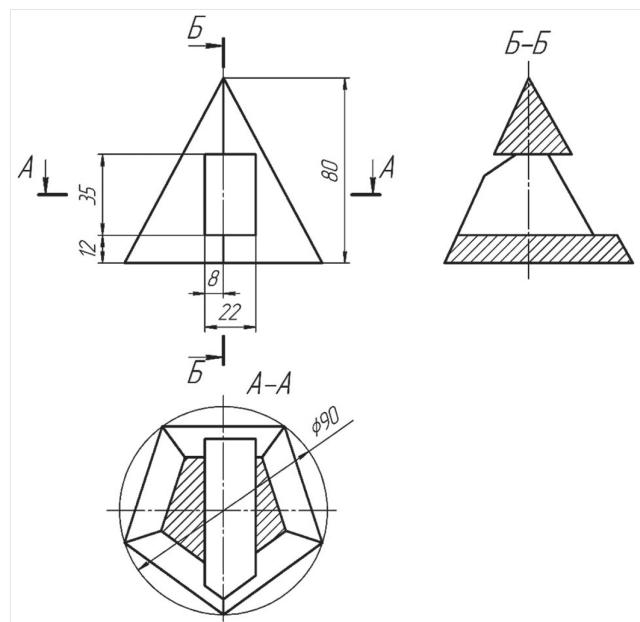


Рис. 5

При выполнении изображений на электронном чертеже тела вращения (рис. 6) отрабатывается создание вида, простого полного разреза без обозначения и соединение на плоскости проекций половины вида и половины разреза.

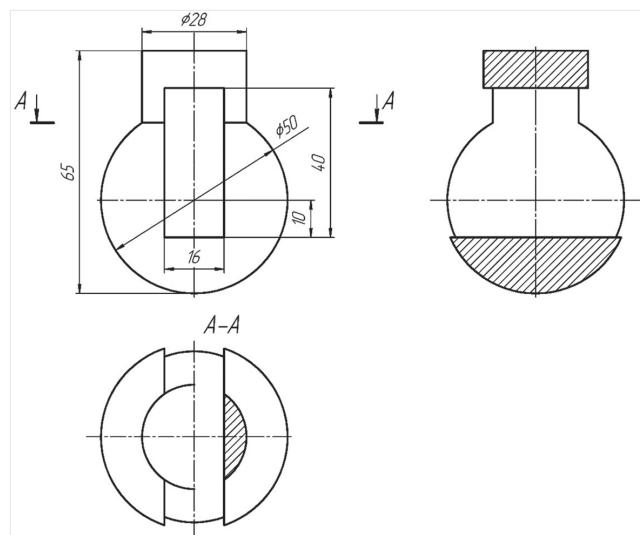


Рис. 6

При выполнении изображений на электронном чертеже детали класса «тело вращения» (рис. 7) отрабатывается создание вида, простого полного разреза с обозначением и вынесенного сечения без проекционной связи.

При выполнении изображений на электронном чертеже класса «не тело вращения» (рис. 8) отраба-

тывается создание вида, сложного полного разреза, соединение на плоскости проекций половины вида и половины разреза и создание симметрично вынесенного сечения.

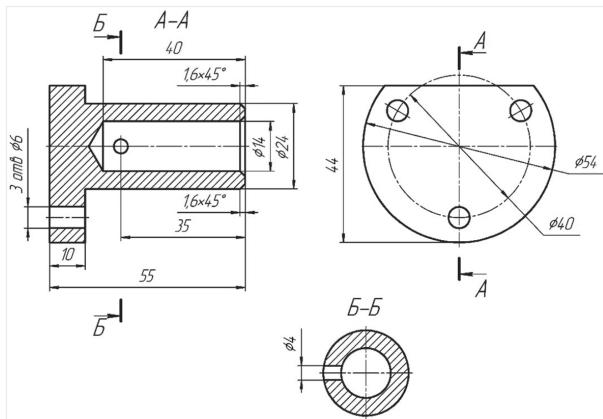


Рис. 7

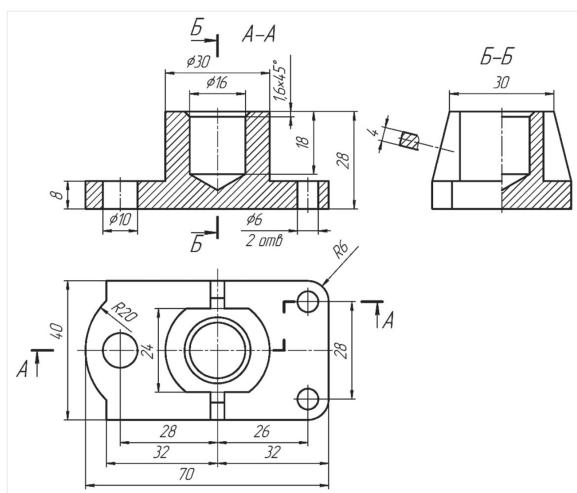


Рис. 8

После создания каждого чертежа студент выполняет контрольное задание, по редактированию чер-

тежа путем изменения одного из размеров (параметров) модели по указанию преподавателя. Например, для детали на рис. 8 требуется отредактировать чертеж, изменив в модели диаметр глухого отверстия с 16 мм на 12 мм. При редактировании студент должен перейти в файл «Модель детали», найти в «Дереве построений» нужный элемент, перейти в режим редактирования и изменить требуемый размер (параметр). Затем перейти обратно в файл «Чертеж детали». При этом изображения и заданный размер на чертеже должны перестроиться в соответствии с изменениями в модели.

Выполняя контрольное задание, студенты получают необходимые навыки по редактированию чертежа детали, закрепляя на практике знание о необходимости сохранения ассоциативных связей с моделью детали.

Заключение

Представленная методика обучения основам создания твердотельных моделей и электронных чертежей деталей в САПР «Компас-3D», основанная на системном подходе, позволит студентам получить глубокие и упорядоченные знания и навыки, необходимые для построения моделей и создания чертежей деталей средней сложности.

При дальнейшем обучении полученные знания и навыки могут использоваться студентами при выполнении заданий по курсу «Инженерная графика», а также при изучении смежных дисциплин на старших курсах и при выполнении курсовых и дипломного проектов.

Знания и навыки, полученные студентами при обучении работе в «Компас-3D» по данной методике, являются базовыми для создания твердотельных моделей и чертежей и могут быть использованы при работе в других САПР.

Предложенная методика обучения компьютерной графике может быть рекомендована для использования в системе среднего и среднего профессионального образования при обучении черчению.

Литература

1. Алиева Н.П. Autodesk Inventor. Основы работы [Текст] / Н.П. Алиева, П.А. Журбенко, Л.С. Сенченкова. — М.: ДМК Пресс, 2013. — 112с.
2. Анамова Р.Р. Инженерная и компьютерная графика: учебник и практикум для среднего профессионального образования [Текст] / Р.Р. Анамова, С.А. Леонова, Н.В. Пшеничнова. — 2-е изд. — М.: Юрайт, 2023. — 226 с.
3. Блауберг И.В. Становление и сущность системного подхода [Текст] / И. В. Блауберг, Э. Г. Юдин. — М.: Наука, 1973. — 270 с.

4. Бойков А.А. Проблемы геометро-графической подготовки студентов вузов [Текст] / А.А. Бойков, К.Т. Егизарян, А.В. Ефремов, Н.С. Кадыкова // Геометрия и графика. — 2023. — Т. 11. — № 1. — С. 4–22. — DOI 10.12737/2308-4898-2023-11-1-4-22.
5. Большаков В. Твердотельное моделирование деталей в CAD-системах: AutoCAD, КОМПАС-3D, SolidWorks, Inventor, Стэо [Текст] / В. Большаков, А. Бочков, Ю. Лячек. — СПб.: Питер, 2015. — 480 с.
6. Верхотурова Е.В. Причинно-следственный анализ проблем геометро-графической подготовки обучающихся технического вуза [Текст] / Е.В. Верхотурова,

- Г.А. Иващенко // Геометрия и графика. — 2022. — Т. 10. — № 2. — С. 60–69. — DOI: 10.12737/2308-4898-2022-10-2-60-69.
7. Вышнепольский В.И. Всероссийская научно-методическая конференция «Проблемы инженерной геометрии» и семинар «Геометрия и графика» 2021 г [Текст] / В.И. Вышнепольский, Н.С. Кадыкова, Т.А. Верещагина // Геометрия и графика. — 2022. — Т. 10. — № 2. — С. 35–52. — DOI 10.12737/2308-4898-2022-10-2-35-52.
 8. Вышнепольский В.И. Методическая система проведения занятий на кафедре «Инженерная графика» РТУ МИРЭА [Текст] / В.И. Вышнепольский, А.А. Бойков, К.Т. Егиазарян, Н.С. Кадыкова // Геометрия и графика. — 2023. — Т. 11. — № 1. — С. 23–34. — DOI 10.12737/2308-4898-2023-11-1-23-34
 9. Вышнепольский В.И. Организация практико-ориентированного обучения на кафедре «Инженерная графика» РТУ МИРЭА [Текст] / В.И. Вышнепольский, А.А. Бойков, А.В. Ефремов, Н.С. Кадыкова // Геометрия и графика. — 2023. — Т. 11. — № 1. — С. 35–43. — DOI: 10.12737/2308-4898-2023-11-1-35-43.
 10. Вышнепольский В.И. Методические системы подготовки и проведения олимпиад и развития интеллектуальных способностей студентов в РТУ МИРЭА [Текст] / В.И. Вышнепольский, Н.С. Кадыкова, А.В. Ефремов, К.Т. Егиазарян // Геометрия и графика. — 2023. — Т. 11. — № 1. — С. 44–60. — DOI: 10.12737/2308-4898-2023-11-1-44-60.
 11. Вышнепольский В.И. Всероссийский студенческий конкурс «Иновационные разработки» [Текст] / В.И. Вышнепольский, А.В. Ефремов, Н.С. Кадыкова // Геометрия и графика. — 2023. — Т. 11. — № 1. — С. 61–69. — DOI: 10.12737/2308-4898-2023-11-1-61-69.
 12. Вышнепольский В.И. Цели и методы обучения графическим дисциплинам [Текст] / В.И. Вышнепольский, Н.А. Сальков // Геометрия и графика. — 2013. — Т. 1. — № 2. — С. 8–9. — DOI: 10.12737/777.
 13. ГОСТ 2.056-2021 Единая система конструкторской документации. Электронная модель детали. Общие положения. — М.: Российский институт стандартизации, 2022. — 12 с.
 14. ГОСТ 2.305-2008 Единая система конструкторской документации. Изображения — виды, разрезы, сечения. — М.: Стандартинформ, 2008. — 23 с.
 15. Гузненков В.Н. Использование цифровых технологий на кафедре инженерной графики МГТУ им. Н.Э. Баумана [Текст] / В.Н. Гузненков // Научное обозрение. Педагогические науки. — 2020. — № 2. — С. 10–14. DOI: 10.17513 /srps.2279.
 16. Гузненков В.Н. Система автоматизированного проектирования «Компас-3D» в подготовке машиностроителя [Текст] / В.Н. Гузненков, П.А. Журбенко // Будущее машиностроения России: сборник докладов. XV Всероссийская конференция молодых ученых и специалистов. — М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2023. — Т. 2. — С. 345–348.
 17. Гузненков В.Н. Autodesk Inventor 2012. Трехмерное моделирование деталей и создание чертежей: учебное пособие. [Текст] / В.Н. Гузненков, П.А. Журбенко — М.: ДМК Пресс, 2012. — 120 с.
 18. Гузненков В.Н. Solidworks 2016: Трехмерное моделирование деталей и выполнение электронных чертежей: учебное пособие [Текст] / В.Н. Гузненков, П.А. Журбенко, Т.П. Бондарева — М.: МГТУ им. Э. Баумана, 2017. — 124 с.
 19. Гузненков В.Н. Информационные технологии в графических дисциплинах технического университета [Текст] / В.Н. Гузенков // Геометрия и графика. — 2013. — Т. 1. — № 3–4. — С. 26–28. — DOI: 10.12737/2128
 20. Дамчаасурэн Х. Внедрение электронной технологии в образование [Текст] / Х. Дамчаасурэн // Геометрия и графика. — 2021. — Т. 9. — № 3. — С. 39–45. — DOI: 10.12737/2308-4898-2021-9-3-39-45.
 21. Денисов М.А. Компьютерное проектирование Компас-3D: учебное пособие [Текст] / М.А. Денисов. — Екатеринбург: Уральский университет, 2014. — 76 с.
 22. Козлова И.А. Графические дисциплины и информатизация инженерного образования [Текст] / И.А. Козлова, Р.Б. Славин, Б.М. Славин // Геометрия и графика. — 2022. — Т. 10. — № 4. — С. 35–45. — DOI: 10.12737/2308-4898-2022-10-4-35-45.
 23. Мусаева Т.В. Дополненная реальность в проведении занятий по инженерным техническим дисциплинам проектирования [Текст] / Т.В. Мусаева, А.А. Ураго // Геометрия и графика. — 2021. — Т. 9. — № 2. — С. 46–55. — DOI: 10.12737/2308-4898-2021-9-2-46-55.
 24. Оюунжаргал Ч. Тенденции обучения в инженерной графике [Текст] / Ч. Оюунжаргал, Э. Оюунзаяа // Геометрия и графика. — 2022. — Т. 10. — № 2. — С. 53–59. — DOI: 10.12737/2308-4898-2022-10-2-53-59.
 25. Сальков Н.А. Системный подход к изучению начертательной геометрии [Текст] / Н.А. Сальков // Геометрия и графика. — 2022. — Т. 10. — № 1. — С. 14–23. — DOI: 10.12737/2308-4898-2022-10-1-14-23.
 26. Сальков Н.А. Качество геометрического образования при различных подходах к методике обучения [Текст] / Н.А. Сальков // Геометрия и графика. — 2020. — Т. 8. — № 4. — С. 47–60. — DOI: 10.12737/2308-4898-2021-8-4-47-60.
 27. Сальков Н.А. Отражение развития инженерной геометрии в журнале «Геометрия и графика» [Текст] / Н.А. Сальков, Н.С. Кадыкова // Геометрия и графика. — 2020. — Т. 8. — № 2. — С. 82–100. — DOI: 10.12737/2308-4898-2020-82-100.
 28. Сальков Н.А. Отображение проблем геометрического образования в журнале «Геометрия и графика» [Текст] / Н.А. Сальков // Геометрия и графика. — 2020. — Т. 8. — № 3. — С. 87–119. — DOI: 10.12737/2308-4898-2020-87-119.
 29. Сальков Н.А. Начертательная геометрия — база для компьютерной графики [Текст] / Н.А. Сальков // Геометрия и графика. — 2016. — Т. 4. — № 2. — С. 37–47. — DOI: 10.12737/19832.

30. Стриганова Л.Ю. Основы работы в КОМПАС-3D: практикум [Текст] / Л.Ю. Стриганова, Н.В. Семенова. — Екатеринбург: Уральский университет, 2020. — 156 с.
31. Тихонов-Бугров Д.Е. О некоторых проблемах графической подготовки в технических вузах (взгляд из Санкт-Петербурга) [Текст] / Д.Е. Тихонов-Бугров // Геометрия и графика. — 2013. — Т. 2. — № 1. — С. 46–53. — DOI: 10.12373/3848.
32. Усатая Т.В. Современные подходы к проектированию изделий в процессе обучения студентов компьютерной графике [Текст] / Т.В. Усатая, Л.В. Дерябина, Е.С. Решетникова // Геометрия и графика. — 2019. — Т. 7 — № 1. — С. 74–82. — DOI: 10.12737/article_5c91fd2bde0ff7.07282102.
33. Хейфец А.Л. Инженерная 3D-компьютерная графика в 2 т. Т. 1: учебник и практикум для вузов [Текст] / А.Л. Хейфец, А.Н. Логиновский, И.В. Буторина, В.Н. Васильева. — 3-е изд. — М.: Юрайт, 2022. — 328 с.

References

1. Alieeva N.P., Zhurbenko P.A., Senchenkova L.S. *Autodesk Inventor. Osnovy raboty* [Autodesk Inventor. Basics of work]. Moscow, DMK Press Publ., 2013. 112 p. (in Russian)
2. Ananova R.R., Leonova S.A., Pshenichnova N.V. *Inzhenernaya i komputernaya grafika: uchebnik i praktikum dlya srednego professionalnogo obrazovaniya* [Engineering and Computer graphics: textbook and workshop for secondary vocational education]. Moscow, YURAIT Publ., 2023. 226 p. (in Russian)
3. Blauberg I.V. *Stanovlenie i suschnost sistemnogo podhoda* [Formation and essence of the system approach]. Moscow, Nayka Publ., 1973. 270 p. (in Russian)
4. Boykov A.A., Egiazaryan K.T., Efremov A.V., Kadykova N.S. Problemy geometro-graficheskoi podgotovki studentov vuzov [Problems of geometric-graphic training of university students]. *Geometriya i grafika* [Geometry and Graphics]. 2023, V. 11, I. 1, pp. 4–22. DOI: 10.12737/2308-4898-2023-11-1-4-22. (in Russian)
5. Bolshakov V., Bochkov A., Laychek Yu. *Tverdotelnoe modelirovaniye detalei v CAD-sistemah: AutoCAD, KOMПАС-3D, SolidWorks, Inventor, Creo* [Solid-state modeling of parts in CAD systems: AutoCAD, KOMПАС-3D, SolidWorks, Inventor, Creo]. Saint Petersburg, Piter Publ., 2015. 480 p. (in Russian)
6. Verhoturova E.V., Ivaschenko G.A. *Prichinno-sledstvennyi analiz problem geometro-graficheskoi podgotovki obuchauschihhsya tehnicheskogo vuza* [Cause and Effect Diagram of the Problems of Geometric and Graphic Training of Students at a Technical University]. *Geometriya i grafika* [Geometry and Graphics]. 2022, V. 10, I. 2, pp. 60–69. DOI: 10.12737/2308-4898-2022-10-2-60-69. (in Russian)
7. Vyshnyepolskiy V.I., Kadykova N.S., Vereschagina T.A. *Vserossiiskaya nauchno-metodicheskaya konferentsiya «Problemy inzhenernoi geometrii» i seminar «Geometriya i grafika»* 2021 g. [All-Russian scientific and methodologi-
- cal conference «Problems of engineering geometry» and the seminar «Geometry and graphics» 2021]. *Geometriya i grafika* [Geometry and Graphics]. 2022, V. 10, I. 2, pp. 35–52. DOI: 10.12737/2308-4898-2022-10-2-35-52. (in Russian)
8. Vyshnyepolskiy V.I., Boykov A.A., Egiazaryan K.T., Kadykova N.S. Metodicheskaya sistema provedeniya zanyatii na kafedre "Inzhenernaya grafika" RTU MIREA [Methodological system for conducting classes at the department of "Engineering graphics" RTU MIREA]. *Geometriya i grafika* [Geometry and Graphics]. 2023, V. 11, I. 1, pp. 23–34. DOI: 10.12737/2308-4898-2023-11-1-23-34. (in Russian)
9. Vyshnyepolskiy V.I., Boykov A.A., Efremov A.V., Kadykova N.S. Organizatsiya praktiko-orientirovannogo obucheniya na kafedre «Inzhenernaya grafika» RTU MIREA [Arrangement of practice-oriented learning at the department of «Engineering graphics» RTU MIREA]. *Geometriya i grafika* [Geometry and Graphics]. 2023, V. 11, I. 1, pp. 35–43. DOI: 10.12737/2308-4898-2023-11-1-35-43. (in Russian)
10. Vyshnyepolskiy V.I., Kadykova N.S., Efremov A.V., Egiazaryan K.T. Metodicheskie sistemy podgotovki provedeniya olimpiad I razvitiya intelektualnyh sposobnostei studentov v RTU MIREA [Methodological systems for the preparation and conduct of olympiads and the development of intellectual abilities of students at RTU MIREA]. *Geometriya i grafika* [Geometry and Graphics]. 2023, V. 11, I. 1, pp. 44–60. DOI: 10.12737/2308-4898-2023-11-1-44-60. (in Russian)
11. Vyshnyepolskiy V.I., Efremov A.V., Kadykova N.S. Vserossiiskii studencheskii konkurs "Innovattscionnye razrabotki" [All-Russian student competition "Innovative developments"]. *Geometriya i grafika* [Geometry and Graphics]. 2023, V. 11, I. 1, pp. 61–69. DOI: 10.12737/2308-4898-2023-11-1-61-69. (in Russian)
12. Vyshnyepolskiy V. I., Sal'kov N. A. Tseli i metody obucheniya graficheskim distsiplinam [The aims and methods of teaching drawing]. *Geometriya i grafika* [Geometry and Graphics]. 2013, V. 1, I. 2. pp. 8–9. DOI: <https://doi.org/10.12737/777> (in Russian)
13. *GOST 2.056-2021. Edinaya Sistema konstruktorskoi dokumentatsii. Elektronnaya model detail. Obschie polozheniya* [State Standard 2.056-2021. Unified system of design documentation. Electronic model of the part. General provisions]. Moscow, Russian Institute of Standardization Publ., 2022. 12 p. (in Russian)
14. *GOST 2.305-2008. Edinaya Sistema konstruktorskoi dokumentatsii. Izobrazheniya — vidy, razrezy, secheniya* [State Standard 2.305-2008. Unified system of design documentation. Images — views, sections, sections]. Moscow, Standartinform Publ., 2008, 23 p. (in Russian)
15. Guznenkov V.N. Ispolzovanie cifrovyh tehnologii na kafedre injenernoi grafiki MGTU im. N.E. Baumana [Use of digital technologies at the department engineering graphics of BMSTU]. *Nauchnoe obozrenie. Pedagogicheskie nauki* [Scientific review. Pedagogical sciences]. 2020, I. 2, pp. 10–14. DOI: 10.17513/srps.2279. (in Russian)

16. Guznenkov V.N., Zhurbenko P.A. Sistema avtomatizirovannogo proektirovaniya "Kompas-3D" v podgotovke mashinostroitelya [Computer-aided design system "Compass-3D" in the training of a machine builder]. *Budushee mashinostroitelya Rossii: sbornik dokladov. XV Vserossiiskaya konferentsiya molodyh uchenyh I spetsialistov* [The future of Russian engineering: collection of reports. XV All-Russian Conference of Young Scientists and Specialists]. Moscow, BMSTU, 2023, V. 2, pp. 345–348. (in Russian)
17. Guznenkov V.N., Zhurbenko P.A. *Autodesk Inventor 2012. Trehmernoe modelirovaniye detalei i sozdanie cherchezhei: uchebnoe posobie* [Autodesk Inventor 2012. Three-dimensional modeling of parts and creation of drawings: studies. stipend]. Moscow, DMK Press Publ., 2012. 120 p. (in Russian)
18. Guznenkov V.N., Zhurbenko P.A., Bondareva T.P. *Solidworks 2016: Trehmernoe modelirovaniye detalei i vypolnenie elektronnyh chertezhei: uchebnoe posobie* [Solidworks 2016: Three-dimensional modeling of parts and execution of electronic drawings: textbook]. Moscow, BMSTU Publ., 2017. 124 p. (in Russian)
19. Guznenkov V.N. Informatsionnye tehnologii v graficheskikh distsiplinah tehnicheskogo universiteta [Information technologies in graphic disciplines of the Technical University]. *Geometriya i grafika* [Geometry and Graphics]. 2013, V. 1, I. 3–4. pp. 26–28. DOI: 10.12737/2128. (in Russian)
20. Damchaasuren H. Vnedrenie elektronnoi tehnologii v obrazovaniye [Introduction of Electronic Technology into Education]. *Geometriya i grafika* [Geometry and Graphics]. 2021, V. 9, I. 3, pp. 39–45. DOI: 10.12737/2308-4898-2021-9-3-39-45. (in Russian)
21. Denisov M.A. *Komputernoe proektirovaniye Kompas-3D: uchebnoe posobie* [Computer-aided design in Compass-3D: textbook]. Ekaterinburg, Ural University Publ., 2014. 76 p. (in Russian)
22. Kozlova I.A., Slavin R.B., Slavin B.M. Graficheskie distsipliny i informatizatsiya inzhenernogo obrazovaniya [Graphic Disciplines and Informatization of Engineering Education]. *Geometriya i grafika* [Geometry and Graphics]. 2022, V. 10, I. 4, pp. 35–45. DOI: 10.12737/2308-4898-2022-10-4-35-45. (in Russian)
23. Musaeva T.V., Urago A.A. Dopolennaya realnost' v povedenii zanyatiy po inzhenernym tehnicheskim distsiplinam [Augmented Reality in Conducting Classes in Engineering and Technical Disciplines of Design]. *Geometriya i grafika* [Geometry and Graphics]. 2021, V. 9, I. 2, pp. 46–55. DOI: 10.12737/2308-4898-2021-9-2-46-55. (in Russian)
24. Oyuunzhargal Ch., Oyuunzayaa E. Tendentsii obucheniya v ingenernoi grafike [Trends of training in engineering graphics]. *Geometriya i grafika* [Geometry and Graphics]. 2022, V. 10, I. 2, pp. 35–59. DOI: 10.12737/2308-4898-2022-10-2-53-59. (in Russian)
25. Sal'kov N.A. Sistemnyi podhod k izucheniu nachertatelnoi geometrii [A systematic approach to the study of descriptive geometry]. *Geometriya i grafika* [Geometry and Graphics]. 2022, V. 10, I. 1, pp. 14–23. DOI: 10.12737/2308-4898-2022-10-1-14-23. (in Russian)
26. Sal'kov N.A. Kachestvo geometricheskogo obrazovaniya pri razlichnyh podhodah k metodike obucheniya [The quality of geometric education with different approaches to teaching methods]. *Geometriya i grafika* [Geometry and Graphics]. 2020, V. 8, I. 4, pp. 47–60. DOI: 10.12737/2308-4898-2021-8-4-47-60. (in Russian)
27. Sal'kov N.A., Kadykova N.S. Otrazhenie razvitiya inzhenernoi geometrii v zhurnale "Geometriya i grafika" [Representation of Engineering Geometry Development in "Geometry and Graphics" Journal]. *Geometriya i grafika* [Geometry and Graphics]. 2020, V. 8, I. 2, pp. 82–100. DOI: 10.12737/2308-4898-2020-82-100. (in Russian)
28. Sal'kov N.A. Otobrazhenie problem geometricheskogo obrazovaniya v zhurnale "Geometriya i grafika" [Displaying the problems of geometric education in the journal "Geometry and Graphics"]. *Geometriya i grafika* [Geometry and Graphics]. 2020, V. 8, I. 3, pp. 87–119. DOI: 10.12737/2308-4898-2020-87-119 (in Russian)
29. Sal'kov N.A. Nachertatel'naya geometriya — baza dlya kompyuternoi grafiki [Descriptive geometry — a base for computer graphics]. *Geometriya i grafika* [Geometry and Graphics]. 2016, V. 4, I. 2, pp. 37–47. DOI: 10.12737/19832. (in Russian)
30. Striganova L.Yu., Semenova N.V. *Osnovy raboty v Kompas-3D: praktikum* [Basics of working in COMPASS-3D: a workshop]. Ekaterinburg, Ural University Publ., 2020. 156 p. (in Russian)
31. Tihonov-Bugrov D.E. O nekotoryh problemah graficheskoi podgotovki v tehnicheskikh vuzah (vzglyad iz Sankt-Peterburga) [About some problems of graphic training in technical universities (view from St. Petersburg)]. *Geometriya i grafika* [Geometry and Graphics]. 2013, V. 2, I. 1, pp. 46–53. DOI: 10.12373/3848. (in Russian)
32. Usataya T.V., Deryabina L.V., Reshetnikova E.S. Sovremennye podhody k proektirovaniyu izdelii v protsesse obucheniya studentov komputernoi grafike [Modern approaches to product design in the process of teaching students computer graphics]. *Geometriya i grafika* [Geometry and Graphics]. 2019, V. 7, I. 1, pp. 74–82. DOI: 10.12737/article_5c91fd2bde0ff7.07282102. (in Russian)
33. Heifetz A.L., Loginovskii A.N., Butorina I.V., Vasileva V.N. *Inzhenernaya 3D-komputernaya grafika v 2 t. T. 1: uchebnik i praktikum dlya vuzov* [Engineering 3D Computer graphics in 2 v. V. 1: textbook and workshop for universities]. Moscow, YURAIT Publ., 2022. 328 p. (in Russian)