

## Организация научно-исследовательской работы обучающихся с использованием системы параметрического моделирования КОМПАС-3D

Ю. М. Булдакова

Поволжский государственный технологический университет, Йошкар-Ола, Россия

**Аннотация.** Одним из важнейших элементов системы высшего образования является подготовка высококвалифицированных кадров, обладающих не только профессиональными знаниями и умениями, но и способных к активной научно-исследовательской деятельности. Представлено содержание научно-исследовательской работы обучающихся первого курса по дисциплине «Инженерная графика». На примере моделирования процесса работы устройства регулирования давления в системе трехмерного проектирования КОМПАС-3D v21 обучающиеся знакомятся с параметрическими возможностями CAD-системы как на уровне деталей, так и на уровне сборки, с приемами работы в приложении «Механика: Анимация».

**Ключевые слова:** научно-исследовательская работа студентов, компьютерная графика, твердотельное моделирование, параметризация, сборка, анимация, моделирование процессов, система КОМПАС-3D

### Organization of students' research work using the KOMPAS-3D parametric modeling system

Y. M. Buldakova

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola, Russia

**Abstract.** One of the most important elements of the higher education system is the training of highly qualified personnel with not only professional knowledge and skills, but also capable of active research activities. The content of the research work of the first-year students in the discipline «Engineering graphics» is presented. Using the example of modeling the operation of a pressure control device in the KOMPAS-3D v21 three-dimensional design system, students get acquainted with the parametric capabilities of the CAD system both at the detail and assembly levels, and with the working techniques in the «Mechanics: Animation application».

**Keywords:** students' research work, computer graphics, solid-state modeling, parameterization, assembly, animation, process modeling, KOMPAS-3D system.

### Введение

Подготовку квалифицированных специалистов, занимающихся проектированием изделий машиностроения и технологией их изготовления, в современных условиях невозможно представить без применения систем автоматизированного проектирования (САПР) [1]. Современные САПР предлагают широкие возможности для создания параметрических моделей различных объектов [2]. Использование механизма параметризации САПР в рамках научно-исследовательской работы (НИР) обучающихся по дисциплине «Инженерная графика» позволяет развивать инженерно-конструкторские навыки – модифицировать довольно сложные сборочные единицы, например изменять размеры деталей и управлять их формой, управлять положением детали в сборочной единице за счет изменения параметров привязок, автоматически перестраивать всю сборку при изменении одного из параметров. Также одной из наиболее актуальных областей применения компьютерной графики является система виртуальной реальности. Она позволяют имитировать объекты реального мира, визуализировать и обрабатывать большие объемы информации. По этой причине обучение основам реалистичной визуализации 3D-моделей является обязательным условием графической подготовки будущих инженеров. В современные САПР интегрированы приложения и библиотеки, которые упрощают задачу конструктора по разработке проектов любой сложности [3]. К примеру, в среде проектирования КОМПАС-3D имеется приложение «Механика: Анимация» [4], которое позволяет наглядно продемонстрировать работу различных механизмов и взаимодействие их составляющих друг с другом [5–7].

### Постановка задачи

Основной целью изучения дисциплины «Инженерная графика» является приобретение обучающимися знаний и навыков, необходимых для выполнения и чтения чертежей. Процесс обучения

целесообразно проводить на простых базовых задачах с поэтапным повышением уровня сложности заданий. Выполнение одних и тех же заданий вручную и с использованием САПР демонстрирует обучающимся широкие возможности и преимущества последних. Именно раздел «Чтение и деталирование чертежей сборочных единиц» как нельзя лучше подходит для рассмотрения некоторых аспектов параметрического моделирования в САПР. Параметрическое моделирование существенно отличается от обычного трехмерного моделирования. В случае параметрического проектирования создается математическая модель объекта с параметрами, при изменении которых происходят изменения конфигурации детали, взаимные перемещения деталей в сборке и т. п. На примере сборочной единицы «Пневмоклапан давления» [8] обучающимся по сборочному чертежу (чертежу общего вида) в системе КОМПАС-3Д требуется создать параметрическую модель сборки [9]. Для имитации работы устройства необходимо в параметрической модели сборочной единицы определить степень свободы элементов регулятора давления, а затем создать анимацию его открывания и закрывания под действием давления.

## Теория

Моделирование сборки «Пневмоклапан давления» в системе КОМПАС-3Д начинается с создания уникальных деталей (рис. 1): корпуса, крышки, упора, пружин, тарелки, диафрагмы, плунжера, толкателя, заглушки, клапана, вкладыша, трубы, прокладки. Построение трехмерной твердотельной модели деталей заключается в многократном добавлении и вычитании объемов и наиболее часто требует использования операций выдавливания и вращения эскиза. В процессе моделирования деталей используются различные инструменты САПР (рис. 2): фаска, условное изображение резьбы, массив по концентрической сетке и т. д., средства библиотеки «Стандартные изделия», которые значительно сокращают процесс формирования моделей.

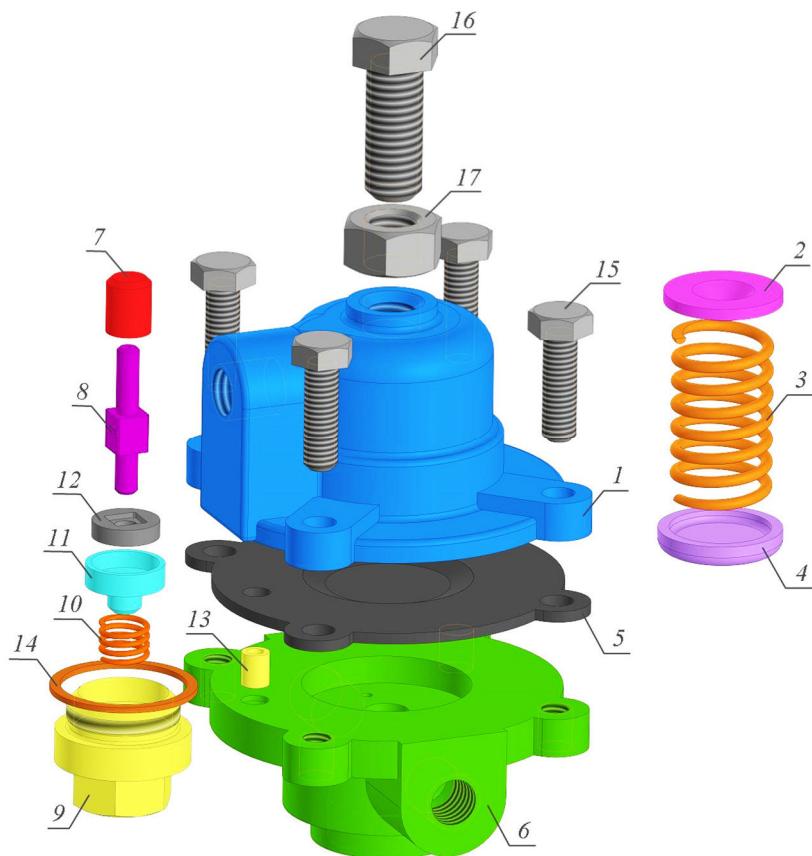


Рисунок 1. Детали, входящие в сборочную единицу «Пневмоклапан давления»:

1 – крышка, 2 – упор, 3 – пружина, 4 – тарелка, 5 – диафрагма, 6 – корпус, 7 – плунжер, 8 – толкатель, 9 – заглушка, 10 – пружина, 11 – клапан, 12 – вкладыш, 13 – трубка, 14 – прокладка, 15 – болт М6×20 ГОСТ 7805-70, 16 – болт М10×40 ГОСТ 7805-70, 17 – гайка М10 ГОСТ 5915-70

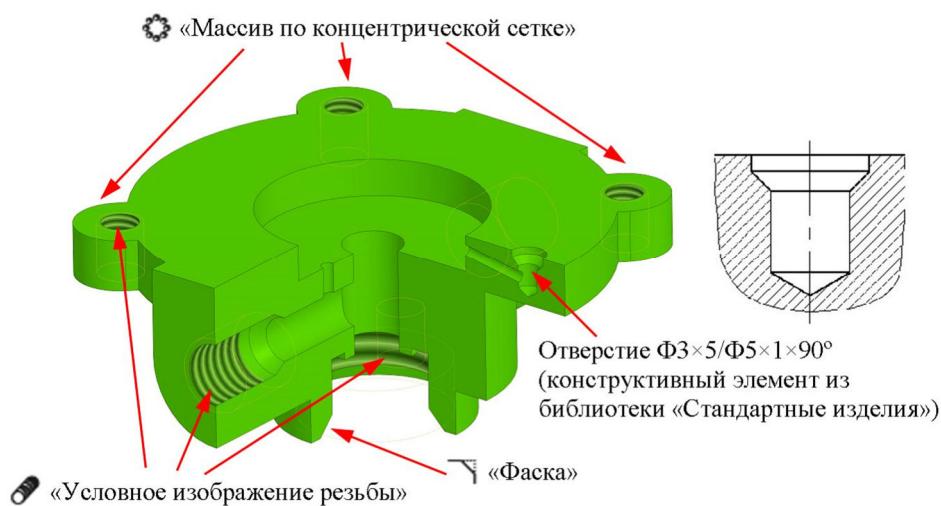


Рисунок 2. Модель уникальной детали «Корпус»

Согласно требованиям ГОСТ 2.109-73 [10], на сборочных чертежах (чертежах общего вида) для упрощения можно не изображать фаски, проточки для выхода резьбонарезного инструмента и т. д. Следовательно, чтение чертежа не должно сводиться к простому перечерчиванию изображений указанных деталей со сборочного чертежа (чертежа общего вида) сборочной единицы. Обучающиеся должны понимать, что для обеспечения стандартного профиля резьбы по всей длине стержня или отверстия необходима проточка для выхода резьбообразующего инструмента, форму и размеры которой выбирают согласно ГОСТ 10549-80 [11], при этом любая цилиндрическая поверхность, если будет сопрягаться с другой поверхностью, должна содержать на входе фаску для облегчения процесса сборки [12].

Функцией предохранительного клапана является поддержание постоянного давления на выходе, несмотря на колебания давления на входе. Для имитации процессов растяжения и сжатия пружин создаются их параметрические модели (рис. 3). С помощью команды «Сpirаль цилиндрическая» строится кривая, при этом следует указать способ построения «По числу витков и шагу». В поле «Количество витков» для пружины (поз. 3) требуется ввести переменную  $n$ , в поле «Шаг» – выражение  $H/n$ , где  $H$  – высота пружины (поз. 3). Аналогично для пружины (поз. 10) указать «Количество витков» –  $t$ , «Шаг» –  $h/t$ , где  $h$  – высота пружины (поз. 10). Для выдавливания сечения проволоки по созданной пространственной кривой обращаемся к команде «Элемент по траектории».

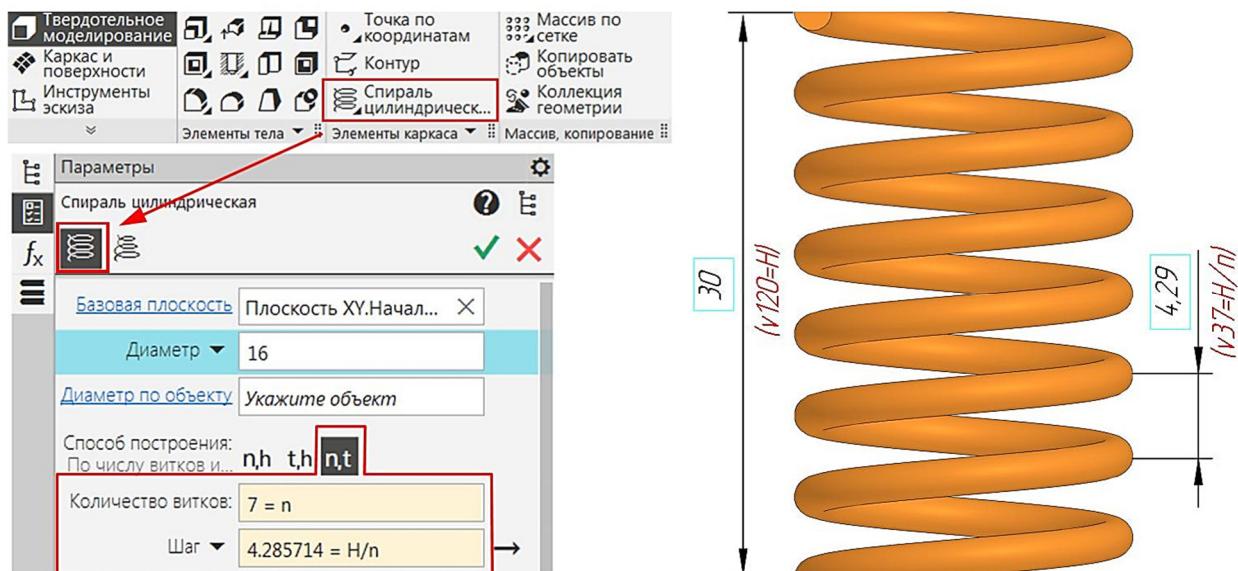


Рисунок 3. Параметрическая модель пружины (поз. 3)

При создании эскиза подвижной части диафрагмы (поз. 5), которая регулирует и перекрывает поток рабочей среды за счет движения вверх–вниз, необходима параметризация ее геометрии: взаимосвязь между объектами и наложенными на них ограничениями, простановка управляющих размеров углового  $a$  и линейного  $c$  (рис. 4). Признаком управляющего размера является прямоугольная рамка вокруг его значения, а соответствующие размерам имена переменных отображаются под размерными линиями.

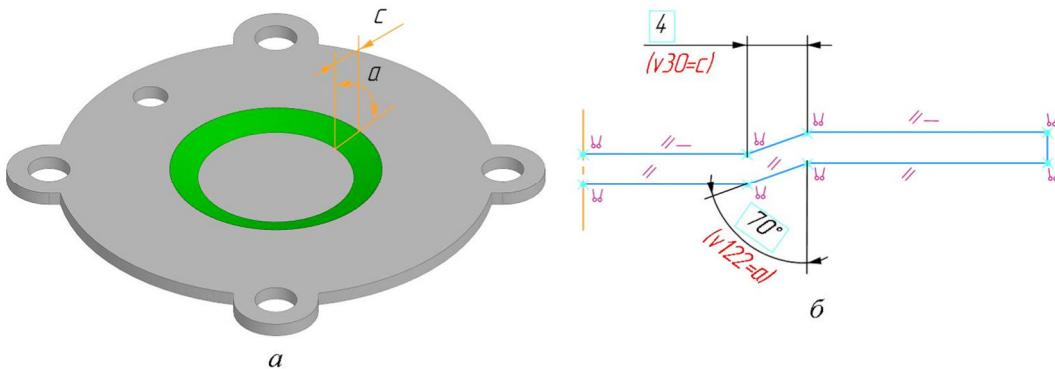


Рисунок 4. Параметрическая модель детали «Диафрагма»:  
а – 3D-модель детали; б – простановка управляющих размеров в эскизе

Источником значений переменных в моделях деталей – пружины (поз. 3), диафрагмы (поз. 5) и пружины (поз. 10) – будут служить ссылки на значения переменных в сборке, что позволит, изменения параметры сборки, изменять параметры деталей, входящих в эту сборку. С целью управления параметрами сборки в таблице «Панели переменных» (рис. 5) вводим зависимости одних параметров от других, например, изменение угла  $a$ :

$$da = (90 - a) + \text{atand} \left[ \frac{dh - c \cdot \text{tand}(90 - a)}{c} \right], \quad (1)$$

где  $dh$  – изменение высоты пружины (поз. 10),  $\text{tand}$  – тангенс с аргументом в градусах,  $\text{atand}$  – арктангенс с результатом в градусах.

Теперь с изменением хотя бы одного из значений входного параметра  $a$ ,  $c$ ,  $dh$  будет меняться угол на величину  $da$  в соответствии с формулой (1). Для перестроения параметризованных моделей деталей необходимо обратиться к команде «Перестроить» или нажать клавишу «F5».

Аналогично вводятся выражения:

для высоты пружины (поз. 3) при деформации –

$$H = H_0 - dH - dh,$$

для высоты пружины (поз. 10) –

$$h = h_0 + dh,$$

где  $H_0$  – высота пружины (поз. 3) в свободном состоянии;  $dH$  – изменение высоты пружины (поз. 3);  $h_0$  – высота пружины (поз. 10) в свободном состоянии.

Переменным  $H$ ,  $h$ ,  $da$  автоматически будет присвоен статус «информационная», признаком которого является значок  (рис. 5).

Стандартные изделия: болт M6×20 ГОСТ 7805-70 (поз. 15), болт M10×40 ГОСТ 7805-70 (поз. 16), гайка M10 ГОСТ 5915-70 (поз. 17), не требуется моделировать как уникальные детали. Их модели вставляются в сборку из библиотеки «Стандартные изделия»: «Приложения» → «Стандартные изделия» → «Вставить элемент» → «Стандартные изделия».

Взаимное расположение компонентов сборки определяется создаваемыми позиционирующими сопряжениями (рис. 6): соосность, совпадение, на расстоянии и т. д. Сопряжения играют большую роль в создании анимации. Главное не перенасыщать сборку ненужными связями. Например, если на два компонента одновременно наложены сопряжения «Параллельность» и «Совпадение», то это может привести к ошибке пересопряжения сборки. Когда связи между компонентами настроены правильно, то процесс анимации проходит без ошибок.

Имя	Выражение	Значение	Параметр	Комментарий
▼ Сборка (Тел-0, Сборочных единиц-0, Деталей-20)				
h0		30	30	высота пружины 3 в свободн...
dH		0	0	изменение высоты пружины 3
i H		h0-dH-dh	30	высота пружины 3
i h0		6.5	6.5	высота пружины 10 в свобод...
i dh		0	0	изменение высоты пружины 10
i h		h0+dh	6.5	высота пружины 10
a		70	70	угол (в градусах)
c		4	4	размер
i da	90-a+ATAND((dh-c*TAND(90-a))/c)	0		изменение угла a (в градусах)

Рисунок 5. Фрагмент панели переменных в сборке

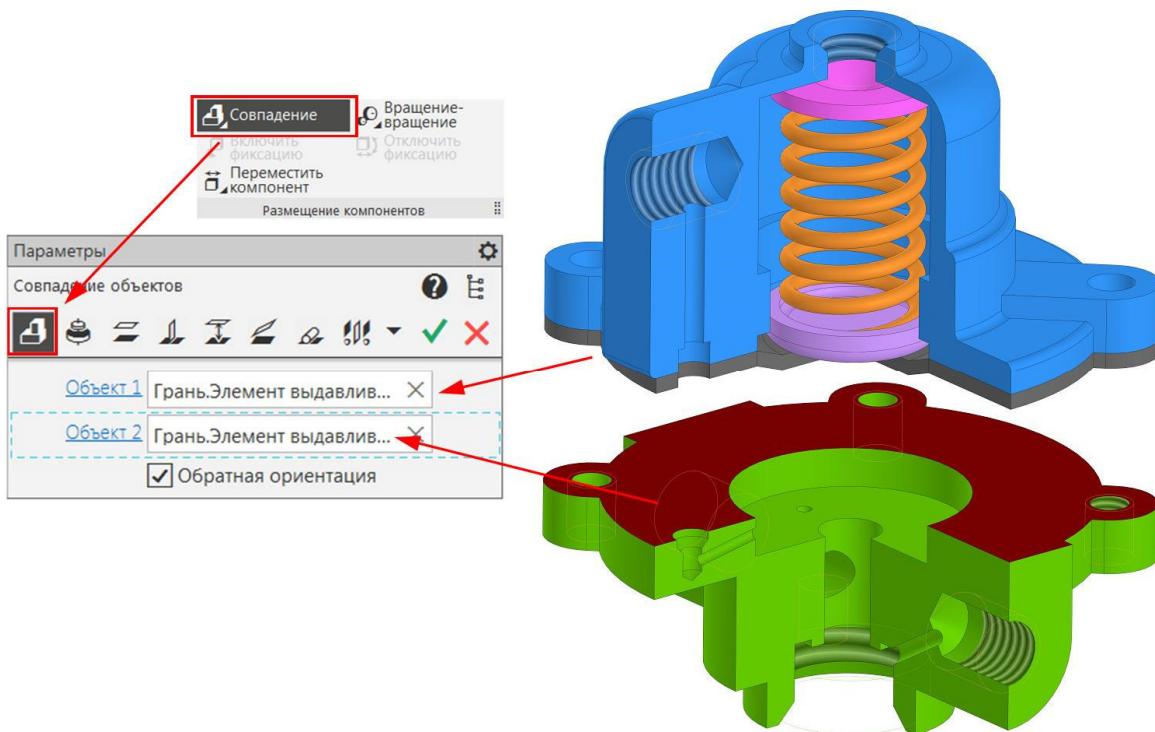


Рисунок 6. Позиционирующее сопряжение «Совпадение»

На основании полученной трехмерной параметрической модели сборки разрабатывается анимация процесса работы устройства регулирования давления. В системе КОМПАС-3Д можно применить модуль анимации для создания поэтапного показа работы клапана, что поможет увидеть, как изменяется его положение при различных значениях давления. Сценарий анимации будет включать в себя два шага (рис. 7): шаг №1 – изменение степени поджатия пружины (поз. 3) с помощью болта (поз. 16); шаг №2 – имитация повышения давления под диафрагмой, при этом пружина (поз. 3) будет сжиматься и клапан (поз. 11) под действием пружины (поз. 10) уменьшает или прекращает проход газа из зоны А в зону Б.

На первом шаге анимации необходимо выбрать переменную  $dH$ : «Компоненты и переменные» → «Выбрать переменную». Появится окно выбора переменных. Интервал изменения переменной и время деформации пружины необходимо откорректировать, используя команды меню: «Параметры» → «Переменные» → «Редактировать параметры». На шаге №2, аналогично, выбираем переменную  $dh$ .

### Результаты экспериментов

После создания сценария анимации можно воспроизвести работу устройства. Для этого надо выполнить команду меню «Воспроизведение». На экране появляется управляющая панель (рис. 8)

с кнопками «Пуск» («▶»), «Стоп» («■»), «Пауза» («■■») и «Создавать видеоролик» («●»). Функция «Создавать видеоролик» позволяет записать анимацию в видеофайл, доступный для просмотра в видеопроигрывателе без использования среды КОМПАС-3D.

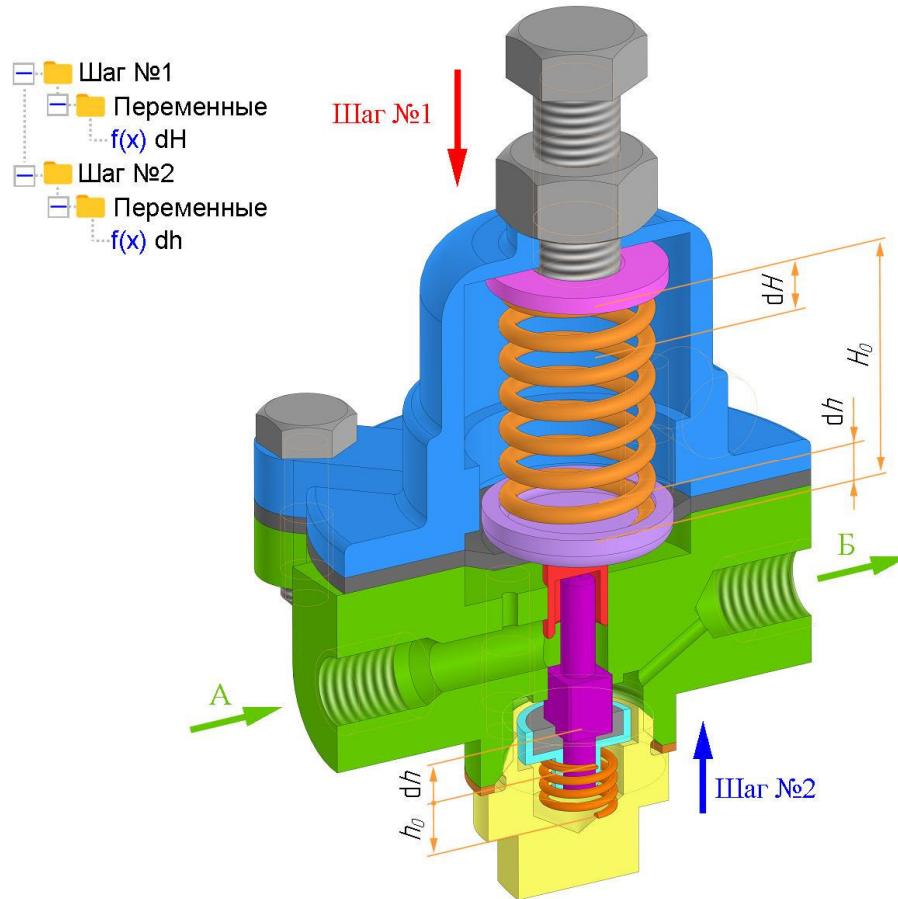


Рисунок 7. Сценарий анимации работы устройства «Пневмоклапан давления»

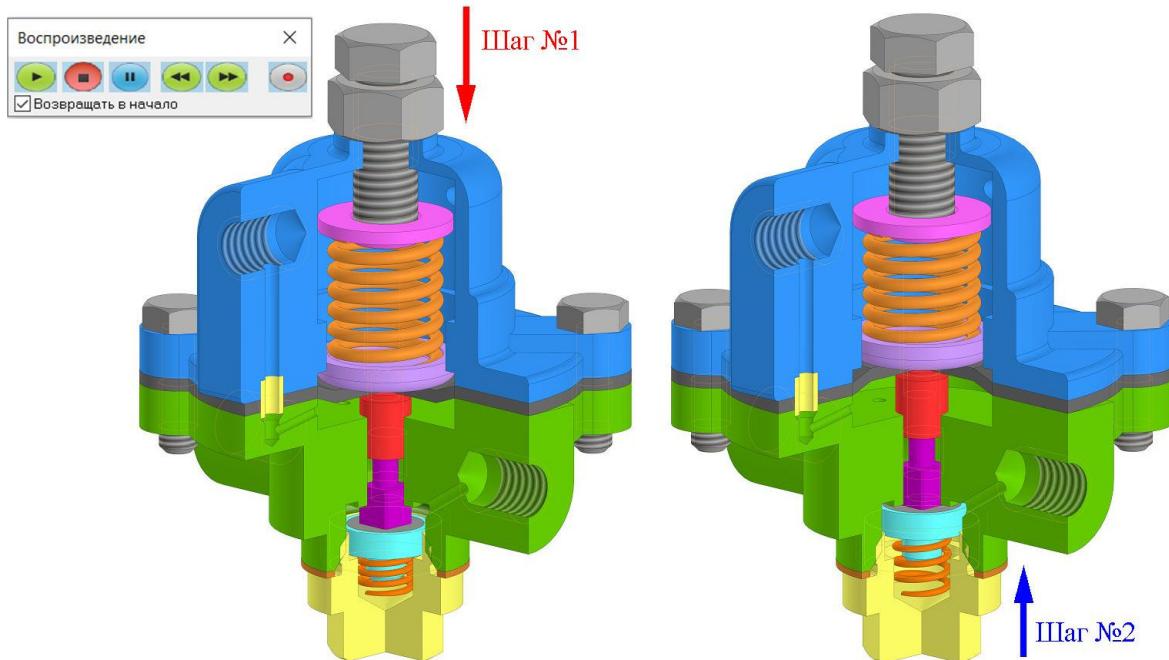


Рисунок 8. Воспроизведение сценария анимации работы устройства «Пневмоклапан давления»

## Обсуждение результатов

На основании вышеупомянутой работы обучающиеся под руководством преподавателя выполняют индивидуальный проект. Результатом выполнения индивидуального задания является не только подготовка теоретического доклада, но и активное обсуждение на студенческих научных конференциях возможных решений практических проблем. При этом выступление перед значительной аудиторией слушателей способствует совершенствованию универсальных, общепрофессиональных и профессиональных компетенций.

На базе ПГТУ ежегодно проводится международная молодежная научная конференция по естественнонаучным и техническим дисциплинам «Научному прогрессу – творчество молодых», на которой рассматриваются и обсуждаются теоретические, экспериментальные, прикладные вопросы по актуальным проблемам естественнонаучных и технических дисциплин на современном этапе их развития. В секции «Прикладная геометрия и компьютерная графика» на XX конференции представлены результаты (рис. 9) в рамках НИР по изучению и реализации возможностей параметризации и анимации в системе КОМПАС-3D [13, 14] обучающимися первого курса.

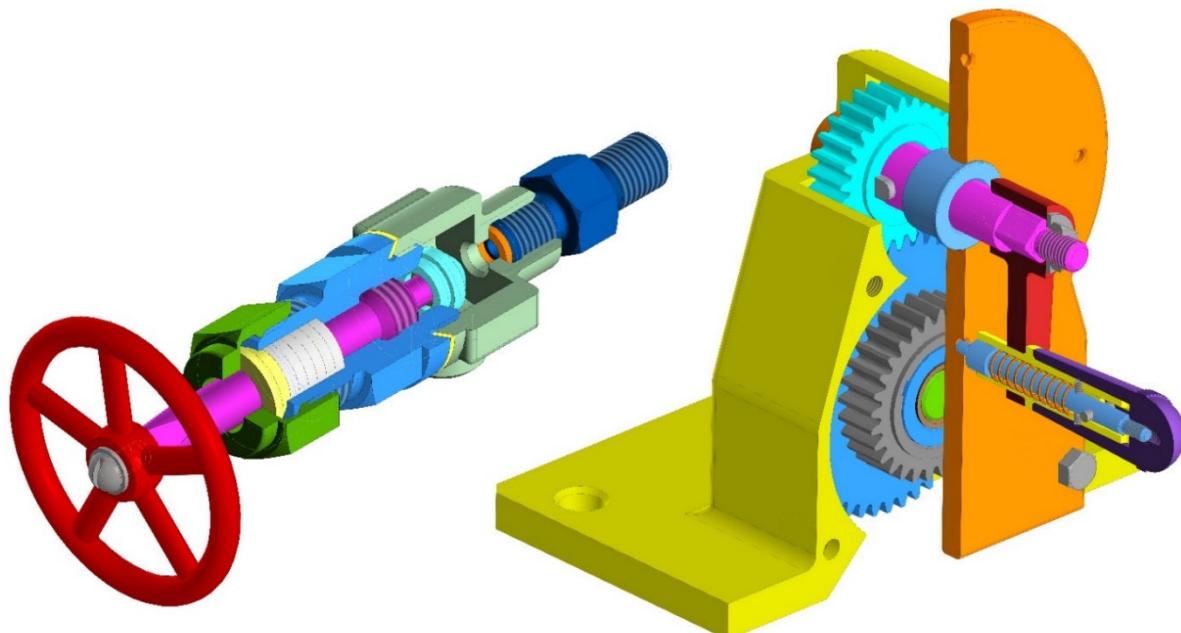


Рисунок 9. Параметрические модели сборок, выполненные обучающимися в рамках НИР

По результатам данной работы обучающиеся знакомятся с основами использования технологии параметризации, реализованной в КОМПАС-3D применительно к различным деталям и сборочным единицам, а при выстроенной единой междисциплинарной схеме обучения создаются условия для более эффективного освоения сквозной параметризации на основе использования CAD/CAM/CAE систем – от разработки до изготовления изделия, что позволяет адаптировать выпускников высших учебных заведений к условиям современного производства.

## Выводы

Параметрическое моделирование обеспечивает возможность вариантового проектирования в сжатые сроки, а также позволяет обнаружить ошибки на ранних стадиях проектирования и оперативно внести необходимые изменения. Также, безусловно, параметрическое 3D-моделирование помогает вовлечь обучающихся в научно-исследовательскую работу, делает процесс обучения интересным и понятным, многократно повышает качество образования.

Внедрение практико-ориентированных технологий в образовательный процесс позволит на этапе обучения в вузе смоделировать процесс применения полученных знаний в условиях работы реального производства, тем самым поднимется уровень конкурентоспособности будущих специалистов на рынке труда.

**Список литературы**

1. Постановление Правительства РФ от 26.12.2017 № 1642 (ред. от 21.02.2025) «Об утверждении государственной программы Российской Федерации «Развитие образования» // Docs.cntd.ru – электронный фонд нормативно-технической и нормативно-правовой информации Консорциума «Кодекс». URL: <https://docs.cntd.ru/document/556183093> (дата обращения: 30.07.2025).
2. Управление параметризацией сложных машиностроительных изделий в среде средних САПР / В. В. Шишгин, Т. П. Пилигина, А. П. Грошев, Н. А. Зотов // Вестник УлГТУ. 2005. № 1 (29). С. 50–52. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/upravlenie-parametrizatsiey-slozhnyh-mashinostrotelnyh-izdeliy-v-srede-srednih-sapr> (дата обращения: 30.07.2025).
3. Залогова Л. А. Принципы трехмерной графики в программах трехмерного моделирования и системах виртуальной реальности // Вестник Пермского университета. Серия: Математика. Механика. Информатика. 2010. № 3. С. 84–90. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/printsiipy-trekhmernoy-grafiki-v-programmakh-trekhmernogo-modelirovaniya-i-sistemah-virtualnoy-realnosti> (дата обращения: 30.07.2025).
4. Механика: Анимация. Инструкция по работе // КОМПАС-3D – официальный сайт САПР КОМПАС. URL: [https://kompas.ru/source/info\\_materials/user-manuals/rukovodstvo-polzovatelya-mekhanika-animaciya.pdf](https://kompas.ru/source/info_materials/user-manuals/rukovodstvo-polzovatelya-mekhanika-animaciya.pdf) (дата обращения: 30.07.2025).
5. Паньков М. С. Оживляя механизмы: Работа с анимацией в системе автоматизированного проектирования КОМПАС-3D (часть 1) // КОМПАС-3D – официальный сайт САПР КОМПАС. URL: [https://kompas.ru/source/articles/SiG\\_04-2014\\_animation.pdf](https://kompas.ru/source/articles/SiG_04-2014_animation.pdf) (дата обращения: 30.07.2025).
6. Паньков М. С. Оживляя механизмы: Работа с анимацией в системе автоматизированного проектирования КОМПАС-3D (часть 2) // КОМПАС-3D – официальный сайт САПР КОМПАС. URL: [https://kompas.ru/source/articles/2015-01\\_-\\_SiG-animation-part-2.pdf](https://kompas.ru/source/articles/2015-01_-_SiG-animation-part-2.pdf) (дата обращения: 30.07.2025).
7. Паньков М. С. Оживляя механизмы: Работа с анимацией в системе автоматизированного проектирования КОМПАС-3D (часть 3) // КОМПАС-3D – официальный сайт САПР КОМПАС. URL: [https://kompas.ru/source/articles/2015-02\\_Animaciya.pdf](https://kompas.ru/source/articles/2015-02_Animaciya.pdf) (дата обращения: 30.07.2025).
8. Аксарин П. Е. Чертежи для деталирования: учеб. пособие для машиностроит. спец. вузов. Москва: Машиностроение, 1978. 132 с.
9. Булдакова Ю. М., Кузьмина О. В., Полушкина Т. А. Чтение и деталирование чертежа общего вида (сборочного чертежа): учебно-методическое пособие. Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2025. 52 с.
10. ГОСТ 2.109-73 Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Основные требования к чертежам (с Изменениями № 1-11) // Docs.cntd.ru – электронный фонд нормативно-технической и нормативно-правовой информации Консорциума «Кодекс». URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200001992> (дата обращения: 30.07.2025).
11. ГОСТ 10549-80 Выход резьбы. Сбеги, недорезы, проточки и фаски (с Изменением № 1) // Docs.cntd.ru – электронный фонд нормативно-технической и нормативно-правовой информации Консорциума «Кодекс». URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200012239> (дата обращения: 30.07.2025).
12. ГОСТ 10948-64 (СТ СЭВ 2814-80) Радиусы закруглений и фаски. Размеры (с Изменением № 1) // Docs.cntd.ru – электронный фонд нормативно-технической и нормативно-правовой информации Консорциума «Кодекс». URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200011919> (дата обращения: 30.07.2025).
13. Булдакова Ю. М., Парфенов С. А. Создание анимации работы делительного приспособления фрезерного станка в КОМПАС-3D // Научному прогрессу – творчество молодых: материалы XX международной молодежной научной конференции по естественнонаучным и техническим дисциплинам, Йошкар-Ола, 25–26 апреля 2025 г. Йошкар-Ола: ПГТУ, 2025. С. 135–137. URL: <https://science.volgatech.net/upload/documents/sbornic20.pdf> (дата обращения: 30.07.2025).
14. Булдакова Ю. М., Черезов Н. С. Создание анимации работы пневмоаппарата клапанного в КОМПАС-3D // Научному прогрессу – творчество молодых: материалы XX международной молодежной научной конференции по естественнонаучным и техническим дисциплинам, Йошкар-Ола, 25–26 апреля 2025 г. Йошкар-Ола: ПГТУ, 2025. С. 138–140. URL: <https://science.volgatech.net/upload/documents/sbornic20.pdf> (дата обращения: 30.07.2025).