

УДК 744

DOI: 10.12737/2308-4898-2023-11-2-47-55

Р.Б. Славин

Канд. техн. наук, доцент,
Астраханский государственный технический университет,
Россия, 414056, Астрахань, ул. Татищева, 16

Н.С. Каргин

Студент,
Московский авиационный институт (национальный
исследовательский университет),
Россия, 125993, Москва, Волоколамское шоссе, д. 4

Б.М. Славин

Канд. техн. наук, доцент, зав. Кафедрой,
Астраханский государственный технический университет,
Россия, 414056, Астрахань, ул. Татищева, 16

Разработка системы полуавтоматического моделирования трехмерных изображений

Аннотация. Начертательная геометрия — это одна из основных дисциплин общинженерного цикла. Она представляет методы точного изображения пространственных объектов на плоскости, а также выявление геометрических форм фигур по заданным изображениям. То есть данная дисциплина призвана дать будущим инженерам знания и умения по построению и чтению чертежей.

Вызывая усиленную работу пространственного мышления студентов, начертательная геометрия способствует развитию пространственного представления. В начертательной геометрии плоское изображение пространственного объекта называется эпюром (чертежом).

Студенты, изучающие начертательную геометрию, знакомятся с примерами практического использования теоретических положений начертательной геометрии в курсовом и дипломном проектировании.

Однако намного проще геометрические объекты воспринимаются в объеме (3D-модели), если их можно покрутить и осмотреть с разных сторон. Для этих целей не обойтись без стороннего программного обеспечения. Визуализацию объектов при наличии трехмерной модели обеспечивает *Unity*. А вот для создания трехмерной модели по чертежу требуется другое программное обеспечение — например, *Blender*. Поэтому авторы поставили перед собой цель: на базе ПО *Blender* создать полуавтоматическую систему визуализации двумерных чертежей в пространстве и разработать исчерпывающую и простую документацию, которая позволит пользоваться программой даже людям, далеким от программирования.

Известно, что *Blender* — это мощная программа для создания трехмерной графики, позволяющая создавать различные объекты, сцены, анимации, а также редактировать их. *Blender* является бесплатной и открытой программой, доступной для всех, кто заинтересован в трехмерном моделировании и создании компьютерной графики.

Среди инструментов *Blender* для создания трехмерных моделей находятся мощные инструменты для моделирования, скульптинга, анимации и визуализации объектов и сцен.

В *Blender* также можно нарисовать текстуры и создать 3D-анимации, используя инструменты анимации, такие как кадры ключей.

Ключевые слова: проецирование, изображение, 3D-моделирование, начертательная геометрия, инженерная графика, компьютерная графика.

R.B. Slavin

Ph.D. of Engineering, Associate Professor,
Astrakhan State Technical University,
16, Tatishcheva st., Astrakhan, 414056, Russia

N.S. Kargin

Student,
Moscow Aviation Institute (National Research University),
4, Volokolamskoe shosse, Moscow, 125993, Russia

B.M. Slavin

Ph.D. of Engineering, Associate Professor, Head of Chair,
Astrakhan State Technical University,
16, Tatishcheva st., Astrakhan, 414056, Russia

Development of a System for Semi-Automatic Modeling of Three-Dimensional Images

Abstract. Descriptive geometry is one of the main disciplines of the general engineering cycle. It presents methods of accurate representation of spatial objects on a plane, as well as the identification of geometric shapes of figures from given images. That is, this discipline is designed to give future engineers the knowledge and skills to build and read drawings.

By causing the intensive work of students' spatial thinking, descriptive geometry contributes to the development of spatial representation. In descriptive geometry, a flat image of a spatial object is called a plot (drawing).

Students studying descriptive geometry get acquainted with examples of practical use of the theoretical provisions of descriptive geometry in course and diploma design.

However, it is much easier to perceive drawings in volume if they can be rotated and viewed from different sides. For these purposes, you can not do without third-party software. Visualization of objects in the presence of a three-dimensional model is provided by *Unity*. But to create a three-dimensional model according to the drawing, other software is required — for example, *Blender*. Therefore, the authors set a goal: to create a semi-automatic visualization system for two-dimensional drawings in space based on *Blender* software and to develop comprehensive and simple documentation that will allow even people far from programming to use the program.

It is known that *Blender* is a powerful program for creating three-dimensional graphics that allows you to create various objects, scenes, animations, as well as edit them. *Blender* is a free and open source program available to anyone interested in three-dimensional modeling and computer graphics creation.

Among the *Blender* tools for creating three-dimensional models are powerful tools for modeling, sculpting, animation and visualization of objects and scenes. In *Blender*, you can also draw textures and create 3D animations using animation tools such as key frames.

Keywords: projection, image, 3D-modeling, descriptive geometry, engineering graphics, computer graphics.

Введение

Президент Российской Федерации В.В. Путин в своих выступлениях на заседаниях Совета по стратегическому развитию и нацпроектам неоднократно отмечал, что на современном этапе в России развитие отечественной инженерной школы должно стать важнейшим направлением с точки зрения подготовки кадров [27].

Наша страна всегда гордилась своими инженерами, в дореволюционной России и в советское время они решали сложнейшие задачи, обеспечивая развитие и даже создание целых отраслей. Новое поколение инженеров современной России на основе лучших традиций отечественной инженерной школы находит уникальные ответы на вызовы времени. В новых условиях растет спрос на современных, качественно подготовленных инженеров. Не случайно в последние годы количество абитуриентов на инженерные специальности растет [7; 9; 27].

Поэтому актуальной задачей является развитие отечественной инженерной школы, в том числе за счет повышения эффективности базового, геометро-графического образования, которое является основой подготовки грамотных инженеров, развивает, в первую очередь, пространственное мышление [4; 6; 8; 11; 12; 14; 20]. К сожалению, общая тенденция последних лет в высшем образовании — снижение выделяемых на геометро-графические дисциплины зачетных образовательных единиц, объединение кафедр геометро-графической подготовки с кафедрами теоретической, прикладной механики или выпускающими. В результате общий уровень базовой подготовки при обучении инженеров заметно снизился в большинстве вузов. Студенты массово просто не успевают развить свои способности к пространственному мышлению — основе любой инженерно-конструкторской деятельности [3; 21–23].

Особенности моделирования в программе Blender

Для достижения поставленных нами целей одним из наиболее важных инструментов, доступных в Blender, является режим редактирования. В этом режиме можно изменять форму и структуру объектов, добавлять новые части или удалять их, перестраивать меш-вершины и создавать так называемые «ложные части» [15; 16; 31–33].

Работа в *Blender* может быть сложной и требует знаний в области графического дизайна и компьютерной графики. Однако благодаря обширному сообществу *Blender* и доступности официальной документации, данное ПО является одним из наиболее популярных инструментов в среде трехмерного мо-

делирования и создания компьютерной графики [31–33].

В трехмерных изображениях элементами являются линии. Для того чтобы линии было видно на конечной модели, они представляются в виде цилиндров небольшого диаметра, которые расположены в точности как линия на чертеже.

Трехмерные изображения позволяют студенту лучше и правильнее понять, как выглядит тот или иной объект. Большая часть первокурсников, согласно проведенному опросу, сталкивается со сложностями при попытке интерпретировать комплексный чертеж, представив его в виде трехмерной модели. 3D-модели созданы для того, чтобы упростить понимание комплексных чертежей и более мягко ввести студента в мир начертательной геометрии [1; 2; 5; 10; 13].

Визуализацию объектов при наличии трехмерной модели обеспечивает *Unity*. Это сервис, который позволяет студентам создавать и предоставлять пользовательские 3D-решения в режиме реального времени для дополненной реальности [17; 18].

Проблемы ручного моделирования

Типичный процесс по ручному созданию чертежей в *Blender*:

- 1) с рисунка измерить координаты всех точек;
- 2) для каждой линии между точками посчитать ее центр и углы наклона по трем осям;
- 3) создать цилиндры фиксированной ширины с центром в найденных точках и с найденными углами поворота;
- 4) если на чертеже есть прямые, то принять центры цилиндров, их представляющих, за любую точку этой прямой.

Как видно, перенос чертежа сопровождается долгими расчетами, в которых к тому же можно допустить ошибку. Для ускорения и оптимизации этих процессов и предлагается система, описываемая в этой статье.

Описание работы системы

На стороне *Blender* система считывает заранее подготовленные файлы *dots.txt* и *connections.txt*, содержащие соответственно данные о положении точек и их связях [31–33].

Далее опционально создаются координатные плоскости с использованием функции *bpy.ops.mesh.primitive_plane_add*.

Затем создаются линии. Положения высчитываются с помощью особой функции, которая работает по следующему принципу:

- 1) получают координаты двух точек, по которым строится линия;

- 2) находятся проекции линии на оси;
- 3) по этим проекциям вычисляется длина линии;
- 4) также по проекциям вычисляются углы поворота фигуры;
- 5) строится фигура с помощью функции *primitive_cylinder_add*.

После создания линии она подписывается. Для того чтобы была возможность не подписывать неинтересные для студента точки или подписывать только одну точку из двух (для подписывания линии), точки, название которых начинается с символа нижнего подчеркивания, не подписываются.

На стороне *Python* система представлена простым консольным приложением.

Она получает текстовую команду и на основании ее создает нужные точки. Краткий список функций программы:

- вывести все точки;
- добавить точку;
- добавить связь между двумя точками;
- создать точку, некоторые координаты которой берутся от первой точки, а некоторые — от второй;
- спроецировать точку на плоскость;
- удалить точку;

- создать прямую;
- очистить сессию.

Система использует две структуры — точку и связь между двумя точками.

Точка содержит в себе координаты по трем осям и название. Название используется для построения связей и подписывания точки на чертеже. Если требуется не подписывать точку на чертеже, то ее название следует начинать с символа нижнего подчеркивания.

Соединение содержит в себе две точки, между которыми проводится прямая.

Используя эти структуры, можно построить любые прямые на чертеже, включая и прямые, которые не соединяют точки. В таком случае точки будут, но они не будут подписываться на чертеже [19].

Студенты могут использовать разработанное программное обеспечение как наглядное пособие и конечно же при решении различных задач начертательной геометрии и инженерной графики, например, при изучении теоремы о перпендикулярности прямой и плоскости (рис. 1).

Ниже представлена иллюстрация, демонстрирующая создание прямоугольного треугольника (рис. 2–4).

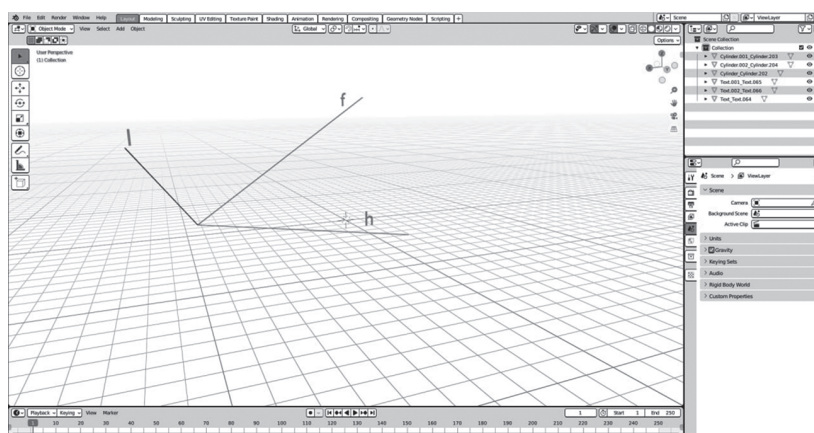


Рис. 1. Иллюстрация теоремы о перпендикулярности прямой и плоскости

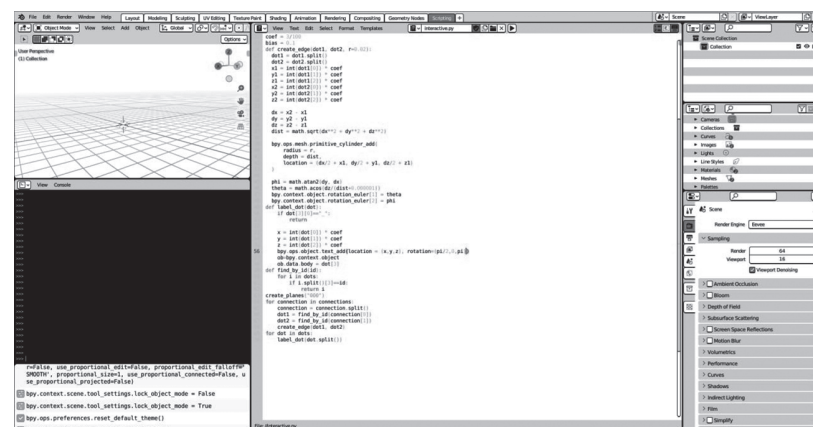


Рис. 2. Вид из Blender когда скрипт еще не запущен

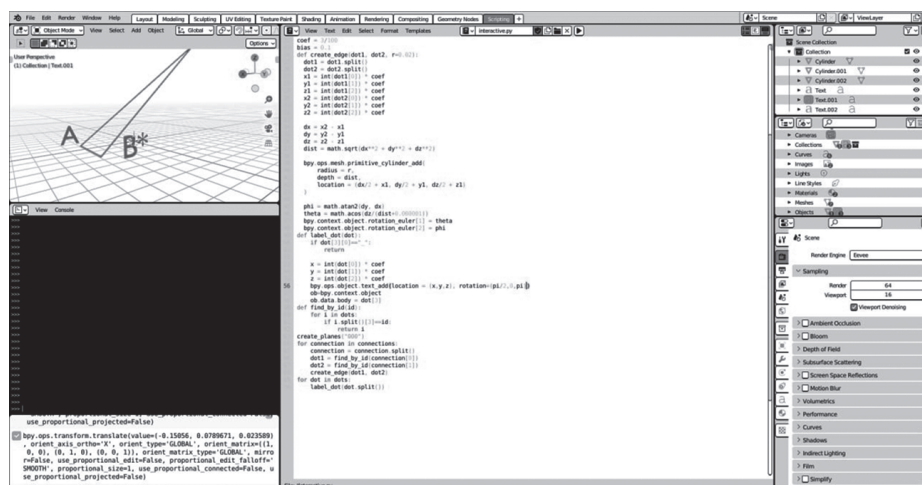
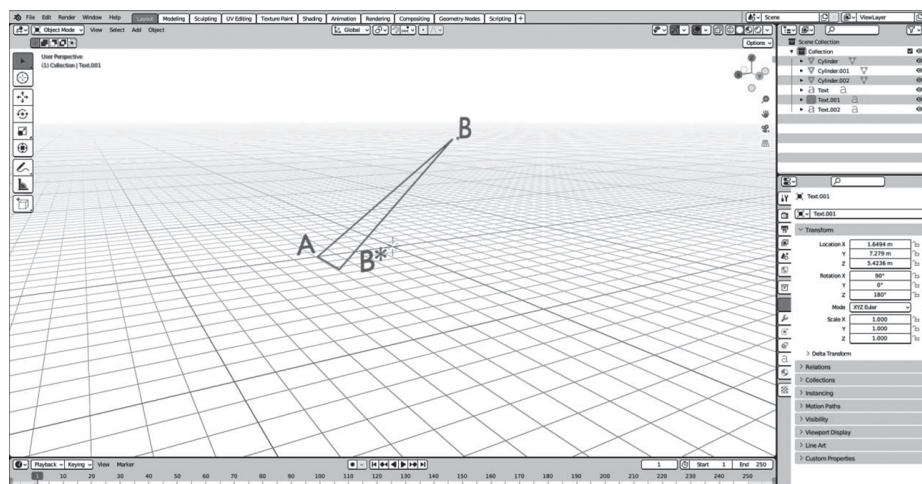
Рис. 3. Вид из программы *Blender* когда скрипт выполнен

Рис. 4. Вид получившейся в итоге модели

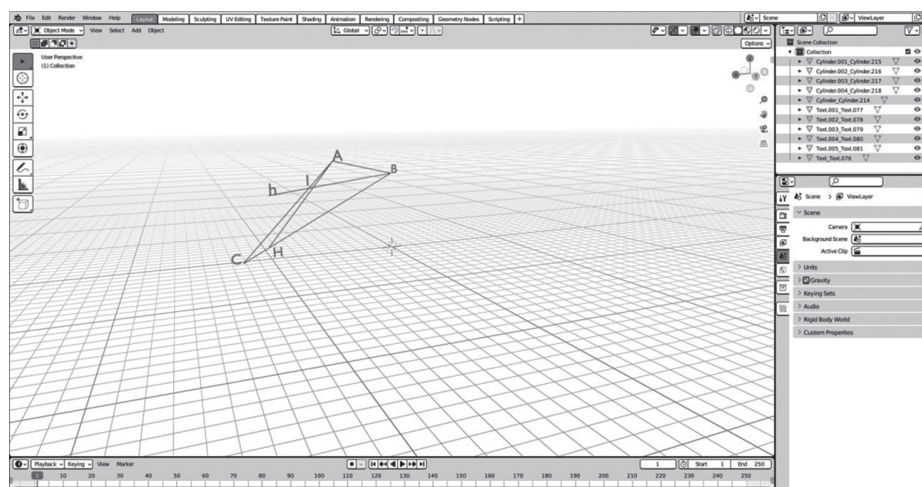


Рис. 5. Иллюстрация решения метрической задачи

В программе, как видно, создается прямоугольный треугольник, особым образом повернутый в пространстве. Первыми двумя строками задаются координаты двух из трех точек (A и B). Затем при помощи команды *combine* мы задаем третью точку B^* , которая располагается так же, как точка A , но имеет координату по y точки B . Затем определяем связи между точками. В последней строчке с помощью *print_dots* для наглядности выводятся получившиеся точки.

С помощью построенного треугольника студенту открывается возможность наглядного решения многих позиционных и метрических задач, в частности, определение расстояния от точки до плоскости треугольника (рис. 5) [33].

Используя координаты точек, программа дает возможность построить 3D-модель детали (рис. 6) [30].

Необходимо отметить, что указанные построения с использованием описанной программы *Blender* студент имеет возможность выполнить даже без существенных навыков работы в программе Компас. Особенно это касается решения задач по начертательной геометрии [24–26].

Заключение

Основная задача предложенного способа 3D-моделирования — дать наиболее полное представление о не существующем пока объекте, его конструктивных особенностях [28–30]. В отличие от программы Компас, данный способ для студента обладает большей наглядностью и простотой построения, особенно при решении задач по начертательной геометрии и инженерной графике. Предлагаемая технология имеет высокий уровень информативности, невысокую стоимость, а процесс корректировки не требует существенных финансовых затрат.

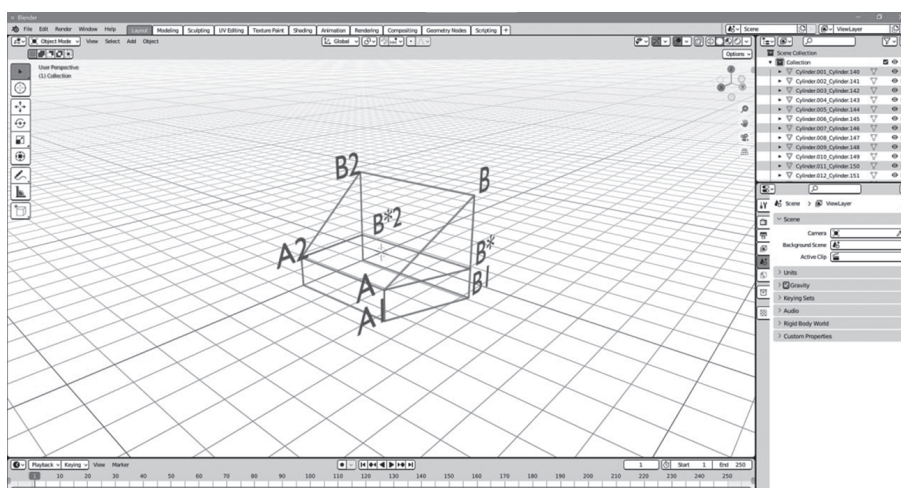


Рис. 6. 3D-модель в *Blender*

Литература

1. Андрюшина Т.В. Проблемы использования электронных образовательных ресурсов в техническом вузе [Текст] / Т.В. Андрюшина, И.Г. Вовнова // Электронные образовательные технологии: решения, проблемы, перспективы: Материалы III междунар. науч.-практ. конф. — Новосибирск: Изд-во СГУПС, 2019. — С. 19–23.
2. Базенков Т.Н. Переход от традиционного преподавания графических дисциплин к активному использованию современных информационных технологий [Текст] / Т.Н. Базенков, Н.С. Винник, В.А. Морозова // Инновационные технологии в инженерной графике. Проблемы и перспективы: Материалы Междунар. науч.-практ. конф. — Брест, 2016. — С. 16–20.
3. Волков В.Я. Курс начертательной геометрии на основе геометрического моделирования [Текст] / В.Я. Волков, В.Ю. Юрков, К.П. Панчук, Н.В. Кайгородцева. — Омск: Изд-во СибАДИ, 2010. — 253 с.
4. Вольхин К.А. Использование информационных технологий в курсе начертательной геометрии [Текст] / К.А. Вольхин, Т.А. Астахова // Омский научный вестник. — 2012. — № 2. — С. 282–286.
5. Вольхин К.А. Применение модульной объективно-ориентированной дистанционной системы обучения в инженерной графической подготовке студента [Текст] / К.А. Вольхин // Проблемы качества графической подготовки студентов в техническом вузе: проблемы,

- традиции и инновации (КГП-2017) Материалы VII междунар. науч.-практич. интернет-конференции. — Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2017. — Т. 1. — С. 195–202.
6. *Вышнепольский В.И.* Всероссийские научно-методическая конференция «Проблемы инженерной геометрии» и семинар «Геометрия и графика»: итоги 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.
 7. *Вышнепольский В.И.* Всероссийский научно-методический семинар «Геометрия и графика» 2020 г. [Текст] / В.И. Вышнепольский // Журнал естественно-научных исследований. — 2020. — Т. 5. — № 4. — С. 5–10.
 8. *Вышнепольский В.И.* Всероссийский студенческий конкурс «Инновационные разработки» [Текст] / В.И. Вышнепольский, Н.С. Кадыкова, Н.И. Прокопов // Геометрия и графика. — 2016. — Т. 4. — № 4. — С. 69–86. — DOI: 10.12737/22845.
 9. *Вышнепольский В.И.* Показатель качества работы преподавателя кафедры [Текст] / В.И. Вышнепольский, Н.С. Кадыкова // Геометрия и графика. — 2014. — Т. 2. — № 4. — С. 15–21. — DOI: 10.12737/8293.
 10. *Головнин А.А.* Базовые алгоритмы компьютерной графики [Текст] / А.А. Головнин // Проблемы качества графической подготовки студентов в техническом вузе: традиции и инновации: Материалы VI Международной научно-практической конференции (Пермь, февраль-март 2016 г.). — Вып. 3. — Пермь: Изд-во Пермского национального исследовательского политехн. университета, 2016. — С. 13–30.
 11. *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.
 12. *Игнатьев С.А.* Технологии тестирования в оценке предметной готовности студентов к изучению геометро-графических дисциплин вуза [Текст] / С.А. Игнатьев, З.О. Третьякова, А.И. Фоломкин. // Геометрия и графика. — 2019. — Т. 7. — № 4. — С. 65–75. — DOI: 10.12737/2308-4898-2020-65-75.
 13. *Козлова И.А.* Графические дисциплины и информатизация инженерного образования [Текст] / 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.
 14. *Матюх С.А.* Использование информационных технологий как метод оптимизации образовательного процесса [Текст] / С.А. Матюх, Н.Н. Яромич // Инновационные технологии в инженерной графике. Проблемы и перспективы: Материалы междунар. науч.-практич. конф. — Новосибирск, 2015. — С. 189–191.
 15. *Мусин Д.Т.* ИТ-технологии в преподавании графических дисциплин [Текст] / Д.Т. Мусин, В.В. Халуева, Д.В. Халитова, И.Р. Газеев // Проблемы качества графической подготовки студентов в техническом вузе: традиции и инновации: Материалы VI Международной научно-практической конференции. — Вып. 3. — Пермь: Изд-во Пермского национального исследовательского политехического университета, 2016. — С. 297–302.
 16. *Петухова А.В.* Дисциплины графического цикла: опыт внедрения электронного обучения [Текст] / А.В. Петухова, О.Б. Болбат, Т.В. Андрюшина // Актуальные проблемы модернизации высшей школы: Материалы междунар. науч.-метод. конф. — Новосибирск: СГУПС НТИ — филиал МГУДТ, 2014. — С. 222–225.
 17. *Полат Е.С.* Современные педагогические и информационные технологии в системе образования: учеб. пособие для студентов высших учебных заведений [Текст] / Е.С. Полат, М.Ю. Бухаркина. — М.: Академия, 2007. — 368 с.
 18. *Рукавишников В.А.* Информатизация геометрографической подготовки инженера [Текст] / В.А. Рукавишников, В.В. Халуева // Информатизация инженерного образования: III междунар. науч.-метод. конф. ИНФОРИНО-2012. — М.: Изд-во МЭИ, 2012. — С. 109–112.
 19. *Сальков Н.А.* Об изображениях [Текст] / Н.А. Сальков // Геометрия и графика. — 2022. — Т. 10. — № 2. — С. 3–10. — DOI: 10.12737/2308-4898-2022-10-2-3-10.
 20. *Сальков Н.А.* Истоки становления начертательной геометрии [Текст] / Н.А. Сальков // Геометрия и графика. — 2021. — Т. 9. — № 3. — С. 3–11. — DOI: 10.12737/2308-4898-2021-9-3-3-11.
 21. *Сальков Н.А.* Основные причины плохого усвоения начертательной геометрии [Текст] / Н.А. Сальков // Геометрия и графика. — 2021. — Т. 9. — № 2. — С. 3–11. — DOI: 10.12737/19832.
 22. *Сальков Н.А.* Качество геометрического образования при различных подходах к методике обучения [Текст] / Н.А. Сальков // Геометрия и графика. — 2020. — Т. 6. — № 4. — С. 47–60. — DOI: 10.12737/2308-4898-2021-8-4-47-60.
 23. *Сальков Н.А.* Место начертательной геометрии в системе геометрического образования технических вузов [Текст] / Н.А. Сальков // Геометрия и графика. — 2016. — Т. 4. — № 3. — С. 53–61. — DOI: 10.12737/21534.
 24. *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.
 25. *Соколова Л.С.* Геометрическая подготовка бакалавров в условиях ухода классического чертежа из современного высокотехнологичного производства [Текст] / Л.С. Соколова // VI Междунар. Научно-практич. Интернет-конф. КГП-2016. — URL: <http://dngn.pstu.ru.conf2016.papers/33> (дата обращения: 17.05.2023).
 26. *Соснин Н.В.* Геометрическая и графическая подготовка в структуре содержания компетентностной модели высшего технического образования [Текст] / Н.В. Соснин // Проблемы качества графической подготовки студентов в техническом вузе в условиях ФГОС ВПО:

- Материалы III научно-практической интернет-конференции с международным участием. — Пермь: Изд-во Пермского национального исследовательского политехнического университета, 2013. — С. 47–59.
27. Стенограмма заседания Совета при Президенте РФ по стратегическому развитию и национальным проектам. — М., 18.07.2023.
 28. Тен М.Г. Решение актуальных проблем модернизации преподавания графических дисциплин [Текст] / М.Г. Тен // Актуальные проблемы модернизации высшей школы: модернизация отечественного высшего образования в контексте национальных традиций: Материалы XXX междунар. науч.-метод. конф. — Новосибирск: Изд-во СГУПС, 2019. — С. 275–278.
 29. Тен М.Г. Формирование профессиональных компетенций студентов технических специальностей в процессе графической подготовки [Текст] / М.Г. Тен // Геометрия и графика. — 2015. — Т. 3. — № 1. — С. 59–63. — DOI: 10.12737/10459.
 30. Якунин В.И. Геометрическое моделирование как обобщение методов прикладной геометрии и её разделов [Текст] / В.И. Якунин, В.Н. Гузнецов // Интеграл. — 2012. — № 5. — С. 120–121.
 31. Документация по Python 3.11.4. — URL: <https://docs.python.org/3> (дата обращения: 29.06.2023).
 32. Справочное руководство по Blender 3.6. — URL: <https://docs.blender.org/manual/en/latest> (дата обращения: 06.06.2023).
 33. Документация Blender 3.6. Python API. — URL: <https://docs.blender.org/api/current/index.html> (дата обращения: 27.06.2023).
- ## References
1. Andrjushina T.V., Vovnova I.G. Problemy ispol'zovaniya jelektronnyh obrazovatel'nyh resursov v tehničeskom vuze [Problems of using electronic educational resources in a technical university]. *Elektronnye obrazovatel'nye tehnologii: reshenija, problemy, perspektivy: materialy III Mezhdunar. nauch.-prakt. konf.* [Electronic Educational Technologies: Solutions, Problems, Prospects: Materials III International. nauch.-prakt. conf.]. Novosibirsk, 2019. Pp. 19–23. (in Russian)
 2. Bazenkov T.N., Vinnik N.S., Morozova V.A. Perehod ot tradicionnogo prepodavaniya graficheskikh disciplin k aktivnomu ispol'zovaniju sovremennyh informacionnyh tehnologij [Transition from traditional teaching of graphic disciplines to the active use of modern information technologies]. *Innovacionnye tehnologii v inženernoj grafike. Problemy i perspektivy: materialy Mezhdunar. nauch.-prakt. konf.* [Innovative technologies in engineering graphics. Problems and Perspectives: Materials International. nauch.-prakt. conf.]. Brest, 2016. Pp. 16–20. (in Russian)
 3. Volkov V.YA. *Kurs nachertatel'noj geometrii na osnove geometricheskogo modelirovaniya* [Descriptive Geometry Course Based on Geometric Modeling]. Omsk, SibADI Publ., 2010. 253 p. (in Russian)
 4. Vol'hin K.A., Astahova T.A. Ispol'zovanie informacionnyh tehnologij v kurse nachertatel'noj geometrii [The use of information technology in the course of descriptive geometry]. *Omskij nauchnyj vestnik* [Omsk Scientific Bulletin]. 2012. I. 2. Ppp. 282–286. (in Russian)
 5. Vol'hin K.A. Primenenie modul'noj obektivno-orientirovannoj distancionnoj sistemy obuchenija v inženernoj graficheskoy podgotovke studenta [Application of modular objectively-oriented distance learning system in the engineering graphic training of the student]. *Materialy VII mezhdunarodnoj nauchno-praktičeskoj internet-konferencii* [Materials of the VII International Scientific and Practical Internet Conference]. Perm'. PNIPU, 2017. V. 1. Pp. 195–202. (in Russian)
 6. Vyshnepol'skij V.I., Kadykova N.S., Vereshchagina T.A. Vserossijskie nauchno-metodicheskaja konferencija «Problemy inženernoj geometrii» i seminar «Geometrija i grafika»: itogi 2021 g. [All-Russian Scientific and Methodological Conference "Problems of Engineering Geometry" and seminar "Geometry and Graphics": Results of 2021]. *Geometrija 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)
 7. Vyshnepol'skij V.I. Vserossijskij nauchno-metodicheskij seminar «Geometrija i grafika» 2020 g. [All-Russian Scientific and Methodological Seminar "Geometry and Graphics" 2020]. *Zhurnal estestvenno-nauchnyh issledovanij* [Journal of Natural Science Research]. 2020. V. 8. I. 4. Pp. 5–10. (in Russian)
 8. Vyshnepol'skij V.I., Kadykova N.S., Prokopov N.I. Vserossijskij studenčeskij konkurs «Innovacionnye razrabotki» [All-Russian Student Competition "Innovative Developments"]. *Geometrija i grafika* [Geometry and graphics]. 2016. V. 4. I. 4. Pp. 69–86. DOI: 10.12737/22845. (in Russian)
 9. Vyshnepol'skij V.I., Kadykova N.S. Pokazatel' kachestva raboty prepodavatelja kafedry [Indicator of the quality of the work of the teacher of the department]. *Geometrija i grafika* [Geometry and graphics]. 2014. V. 2. I. 4. Pp. 15–21. DOI: 10.12737/8293. (in Russian)
 10. Golovnin A.A. Bazovye algoritmy komp'yuternoj grafiki. [Basic computer graphics algorithms]. *Problemy kachestva graficheskoy podgotovki studentov v tehničeskom vuze: tradicii i innovacii: Materialy VI Mezhdunarodnoj nauchno-praktičeskoj konferencii* [Problems of quality of graphic training of students in a technical university: traditions and innovations: Materials of the VI International Scientific and Practical Conference]. Vyp. 3. Perm': Izd-vo Permskogo nacional'nogo issledovatel'skogo politehnicheskogo universiteta, 2016. Pp. 13–30. (in Russian)
 11. Damchaasurjen H. Vnedrenie jelektronnoj tehnologii v obrazovanie [Introduction of electronic technology in education]. *Geometrija 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)
 12. Ignat'ev S.A., Tret'jakova Z.O., Folomkin A.I. Tehnologii testirovaniya v ocenke predmetnoj gotovnosti studentov k

- izucheniju geometro-graficheskikh disciplin vuza [Testing technologies in assessing the subject readiness of students to study the metro-graphic disciplines of the university]. *Geometriya i grafika* [Geometry and graphics]. 2019. V. 7. I. 4. Pp. 65–75. DOI: 10.12737/2308-4898-2020-65-75. (in Russian)
13. Kozlova I.A., Slavin R.B., Slavin B.M. Graficheskie discipliny i informatizaciya inzhenerenogo 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)
 14. Matjuh S.A., Jaromich N.N. Ispol'zovanie informacionnykh tehnologij kak metod optimizacii obrazovatel'nogo processa [The use of information technologies as a method of optimizing the educational process]. *Innovacionnye tehnologii v inzhenernoj grafike. Problemy i perspektivy: materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii* [Innovative technologies in engineering graphics. Problems and prospects: materials of the International Scientific and Practical Conference]. Novosibirsk. 2015. Pp. 189–191. (in Russian)
 15. Musin D.T., Halueva V.V., Halitova D.V., Gazeev I.R. IT-tehnologii v prepodavanii graficheskikh discipline [IT technologies in the teaching of graphic disciplines]. *Problemy kachestva graficheskoy podgotovki studentov v tehničeskom vuze: tradicii i innovacii: Materialy VI Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. Vypusk 3* [Problems of the quality of graphic training of students in a technical university: traditions and innovations: Materials of the VI International Scientific and Practical Conference. Issue 3]. Perm'. Izd-vo Permskogo nacional'nogo issledovatel'skogo politehnicheskogo universiteta, 2016. Pp. 297–302. (in Russian)
 16. Petuhova A.V., Bolbat O.B., Andriushina T.V. Discipliny graficheskogo cikla: opyt vnedreniya jelektronnoho obuchenija [Disciplines of the graphic cycle: experience in the implementation of e-learning]. *Aktual'nye problemy modernizacii vysshej shkoly: Materialy Mezhdunar. nauch.-metod. konf.* [Actual problems of modernization of higher education: Materials Mezhdunar. nauch.-method. conf.]. Novosibirsk. SPGUT NTI filial M GUDT. 2014. Pp. 222–225. (in Russian)
 17. Polat E.S., Buharkina M.Ju. *Sovremennye pedagogicheskie i informacionnye tehnologii v sisteme obrazovaniya: ucheb. posobie dlya studentov vysshix uchebnykh zavedeniy* [Modern pedagogical and information technologies in the education system: studies. manual for students of higher education]. Moscow, Akademija Publ., 2007. 368 p. (in Russian)
 18. Rukavishnikov V.A., Halueva V.V. Informatizaciya geometrograficheskoy podgotovki inzhenera [Informatization of metrographic training of an engineer]. *Informatizaciya inzhenerenogo obrazovaniya: III mezhdunar. nauch.-metod. konf. INFORINO-2012* [Informatization of engineering education: III international. nauch.-method. conf. INFORINO-2012]. M.: Izd-vo MJeI, 2012. Pp. 109–112. (in Russian)
 19. Sal'kov N.A. Ob izobrazhenijah. [About images]. *Geometriya i grafika* [Geometry and graphics]. 2022. V. 10. I. 2. Pp. 3–10. DOI: 10.12737/2308-4898-2022-10-2-3-10. (in Russian)
 20. Sal'kov N.A. Istoki stanovlenija nachertatel'noj geometrii. [The Origins of the Formation of Descriptive Geometry]. *Geometriya i grafika* [Geometry and graphics]. 2021. V. 9. I. 3. Pp. 3–11. DOI: 10.12737/2308-4898-2021-9-3-3-11. (in Russian)
 21. Sal'kov N.A. Osnovnye prichiny plohogo usvoenija nachertatel'noj geometrii. [The main reasons for poor assimilation of descriptive geometry]. *Geometriya i grafika* [Geometry and graphics]. 2021. V. 9. I. 2. Pp. 3–11. DOI: 10.12737/19832. (in Russian)
 22. Sal'kov N.A. Kachestvo geometricheskogo obrazovaniya pri razlichnykh podhodah k metodike obuchenija. [Quality of geometric education in different approaches to teaching methodology]. *Geometriya i grafika* [Geometry and graphics]. 2020. V. 6. I. 4. Pp. 47–60. DOI: 10.12737/2308-4898-2021-8-4-47-60. (in Russian)
 23. Sal'kov N.A. Mesto nachertatel'noj geometrii v sisteme geometricheskogo obrazovaniya tehničeskikh vuzov. [The place of descriptive geometry in the system of geometric education of technical universities]. *Geometriya i grafika* [Geometry and graphics]. 2016. V. 4. I. 3. Pp. 53–61. DOI: 10.12737/21534. (in Russian)
 24. Sal'kov N.A. Nachertatel'naja geometrija — baza dlja komp'juternoj grafiki. [Descriptive geometry — the basis for computer graphics]. *Geometriya i grafika* [Geometry and graphics]. 2016. V. 4. I. 2. Pp. 37–47. DOI: 10.12737/19832. (in Russian)
 25. Sokolova L.S. Geometricheskaja podgotovka bakalavrov v uslovijah uhoda klas-sicheskogo chertezha iz sovremenno-go vysokotehnologichnogo proizvodstva [Geometric training of bachelors in the conditions of the departure of the classical drawing from modern high-tech production]. *VI Mezhdunar. nauchno-praktich. internet-konf.* [VI Int. scientific and practical. internet conf.]. KGP-2016. URL: <http://dngn.pstu.ru.conf2016.papers/33> (in Russian)
 26. Sosnin N.V. Geometricheskaja i graficheskaja podgotovka v strukture sodержaniya kompetentnostnoj modeli vysshego tehničeskogo obrazovaniya [Geometric and graphic training in the content structure of the competence model of higher technical education]. *Problemy kachestva graficheskoy podgotovki studentov v tehničeskom vuze v uslovijah FGOS VPO: Materialy III nauchno-prakticheskoy internet-konferencii s mezhdunarodnym uchastiem* [Problems of the quality of graphic training of students in a technical university in the conditions of the GEF HPE: Materials of the III scientific and practical Internet conference with international participation]. Perm': Izd-vo Permskogo nacional'nogo issledovatel'skogo politehnicheskogo universiteta, 2013. Pp. 47–59. (in Russian)
 27. *Stenogramma zasedaniya Soveta pri Prezidente RF po strategicheskomu razvitiyu i nacional'nym proektam* [Transcript of the meeting of the Presidential Council for Strategic De-

- velopment and National Projects]. Moscow, 18.07.2023 (in Russian)
28. Ten M.G. Reshenie aktual'nyh problem modernizacii pre-podavaniya graficheskikh discipline [Solving urgent problems of modernization of teaching graphic disciplines]. *Aktual'nye problemy modernizacii vysshej shkoly: modernizacija otechestvennogo vysshego obrazovaniya v kontekste nacional'nyh tradicij: materialy XXX Mezhdunar. nauch.-met. konf.* [Actual problems of modernization of higher education: modernization of domestic higher education in the context of national traditions: materials XXX International. nauch.-met. conf.]. Sibirskij gosudarstvennyj universitet putej soobshhenija. Novosibirsk, Izd-vo SGUPSa, 2019. Pp. 275–278. (in Russian)
29. Ten M.G. Formirovanie professional'nyh kompetencij studentov tehniceskikh special'nostej v processe graficheskoi podgotovki [Formation of professional competencies of students of technical specialties in the process of graphic training]. *Geometriya i grafika* [Geometry and graphics]. 2015. V. 3. I. 1. Pp. 59–63. DOI: 10.12737/10459. (in Russian)
30. Jakunin V.I., Guzenkov V.N. Geometricheskoe modelirovanie kak obobshhenie metodov prikladnoj geometrii i ejo razdelov [Geometric modeling as a generalization of methods of applied geometry and its sections]. *Integral* [Integral]. 2012. I. 5. Pp. 120–121. (in Russian)
31. Python 3.11.4. documentation. URL: <https://docs.python.org/3> (accessed 29 June 2023). (in Russian)
32. Blender 3.6. Reference Manual. URL: <https://docs.blender.org/manual/en/latest> (accessed 06 June 2023). (in Russian)
33. Blender 3.6. Python API Documentation. URL: <https://docs.blender.org/api/current/index.html> (accessed 27 June 2023). (in Russian)