УДК 378.147
ВАК 05.01.01
РИНЦ 14.01.85

Е.П. Александрова, К.Г. Носов, И.Д. Столбова

Геометрическое моделирование как инструмент повышения качества графической подготовки студентов

В статье обсуждаются вопросы использования потенциала современных компьютерных технологий в рамках геометро-графической подготовки студентов в техническом вузе. Приводятся примеры решения задач геометрического моделирования, опирающихся на базовые положения начертательной геометрии и использующих инструментальные возможности компьютерной графики.

Ключевые слова: *геометро-графическая подготовка, геометрическое моделирование, компьютерная графика, инструменты 3d-моделирования.*

GEOMETRIC MODELING AS A TOOL TO IMPROVE THE QUALITY OF GRAPHIC TRAINING OF STUDENTS

The article discusses the potential use of modern computer technology in the framework of geometrical graphic training students at the Technical University. Examples of solving problems of geometric modeling based on the basic provisions of descriptive geometry and using instrumental possibilities of computer graphics.

Keywords: *geometrical graphic training, geometric modeling, computer graphics, 3d modeling tools.*

Введение

Одной из составляющих базовой подготовки будущих специалистов в области техники и технологии является геометро-графическая подготовка (ГГП) студентов, проводимая на младших курсах в техническом вузе. Традиционно в учебных планах она была представлена блоком дисциплин: начертательная геометрия (теоретические основы геометрических построений) – инженерная графика (практические навыки оформления конструкторской документации) – компьютерная графика (современный инструментарий технического специалиста). Качество графической подготовки студентов университета должно соответствовать современным требованиям к выполнению проектно-конструкторских работ и разработке производственных технологий. Сегодня для обеспечения качества ГГП студентов необходимо изменить сложившуюся систему обучения для разрешения ряда насущных проблем.

Переход российской высшей школы от специалитета к бакалавриату привел к неизбежному сокращению часов на освоение практически всех дисциплин учебных планов вуза, вследствие чего встал вопрос и об оптимизации процесса геометро-графической подготовки студентов [1].

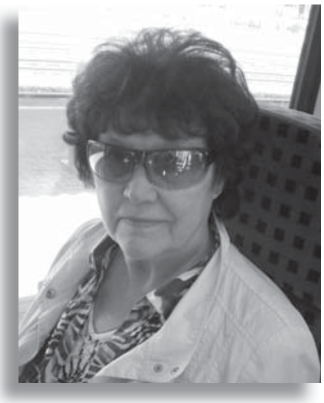
Другой проблемой, требующей модернизации процесса обучения графическим дисциплинам, является активное внедрение в технологию проектно-конструкторских работ электронных геометрических моделей, которые в настоящее время стали информационно интеграционным ядром высокотехнологичных производств [2, 3].

Важным вопросом является изменение условий реализации образовательного процесса, связанных с переходом на компетентностный формат обучения и регламентированием требований его практической направленности, в том числе и в рамках предметного обучения. Актуальной остается также проблема свободы самостоятельного формирования индивидуальных учебных планов студентов, позволяющих раскрыть их потенциальные креативные возможности [4, 5].

В связи с вышеизложенным возникает необходимость разработки новых технологий обучения, обеспечивающих гарантированное качество графической подготовки студентов в условиях резкого сокращения объема часов, отводимого на ее реализацию [6]. Авторами предлагается повысить эффективность учебного процесса за счет создания новой методики решения практико-ориентированных задач ГГП на основе использования современных возможностей компьютерных систем 3d-моделирования.

1. Анализ современного этапа развития визуально-образного моделирования

В последние годы визуально-образное моделирование претерпевает бурное развитие. Начиная с 2000 г. появляются принципиально новые технологии создания 3d-мо-



Евгения Петровна Александрова,
к.т.н., профессор
Тел.: (342) 239-12-79
Кафедра дизайна графики и начертательной геометрии
Пермский национальный исследовательский политехнический университет
www.pstu.ru

Evgeniya P. Aleksandrova,
Candidate of Technical Sciences, Professor
Tel.: (342) 239-12-79
Perm National Research Polytechnical University
www. pstu.ru

Константин Григорьевич Носов,
ассистент
Тел.: (342) 239-12-79
Эл. почта: designprosu@gmail.com
Кафедра дизайна графики и начертательной геометрии
Пермский национальный исследовательский политехнический университет
www.pstu.ru

Konstantin G. Nosov,
assistant
Tel.: (342) 239-12-79
E-mail: designprosu@gmail.com
Perm National Research Polytechnical University
www. pstu.ru

делей, которые вывели графическое моделирование на качественно новый уровень – уровень трехмерного геометрического моделирования. 3d-модели позволили объединить все этапы жизненного цикла изделия в единый целостный цикл, а появление 3d-сканеров, 3d-принтеров, различных станков, позволяющих изготавливать изделия по 3d-модели, сделали ее основным конструкторским документом [7].

Успешное внедрение 3d-моделей в различные области техники обусловливает изменение требований к качеству подготовки специалистов, включая необходимость владения достаточными геометрическими знаниями и новейшими достижениями в области технологий компьютерного моделирования [8].

Указанные обстоятельства потребовали также и перестройки технологий обучения. При этом роль геометрии как основной базовой составляющей геометро-графического образования несколько снижается, уступая место визуально-образному 3d-моделированию. Это отмечается многими авторами в широких дискуссиях по указанной теме, развернувшихся в литературе [3, 9, 10]. Наиболее обсуждаемыми можно назвать вопросы о цели, содержании и месте геометрической науки в новой модели образования, а также необходимость повсеместного использования в графической подготовке студентов новых компьютерных технологий конструирования, реализуемых в универсальных системах (ACAD, КОМПАС и др.) [11].

В то же время универсальный характер моделирования обеспечивает геометрической науке возможность приложения ее методов к произвольным объектам и процессам окружающей действительности, как физическим, так и абстрактным. Поэтому неправомерно ограничивать сферу ее применения лишь инженерным делом. По мнению автора [10], «геометрия ценна не рецептами по проведению линий при помощи циркуля и линейки: она представляет стройную систему знаний, наполненную информационным содержанием. Эта система может быть успешно применена как средство моделирования к решению разнообразных прикладных задач, отвечая всем современным требованиям информационных технологий». Однако для этого геометрия должна перейти на новый уровень абстрактных обобщений и эффективно использовать свои обновленные информационные инструменты в различных сферах практического применения. Будущее геометрической науки зависит от того, какими станут инструменты, предназначенные для реализации ее методов. Заметим, что конструктивный геометрический метод способствует повышению эффективности выполнения проектных работ, в особенности при решении тех задач, условия которых изначально сформулированы в геометрической постановке.

Введение бакалавриата потребовало пересмотра традиционной методики ГГП студентов и привело к созданию интегрированной (единой) дисциплины «Начертательная геометрия. Инженерная графика. Компьютерная графика», которую в соответствии с веянием времени более точно следовало бы назвать «Геометрическое моделирование» [3, 12]. В этих условиях освоение студентами традиционного курса начертательной геометрии в прежнем объеме не представляется возможным, а в соответствии с мнением [7, 9], и нецелесообразным. К тому же, следуя идеологии компетентностного подхода, основывающейся на повсеместном использовании новых информационных технологий, современное обучение должно стать практико-ориентированным. Однако следует иметь в виду, что недостаток в знаниях обучаемых геометрической базы, формирующей особое пространственное мышление, не позволит создать требуемый потенциал для эффективной творческой деятельности будущего выпускника при проектировании технических объектов в своей профессиональной области [4, 10].

Состояние ГГП в настоящее время предполагает разработку инновационного курса для студентов технических направлений и специальностей, компенсирующе-

Ирина Дмитриевна Столбова,
д.т.н., зав. кафедрой
Тел.: (342) 239-10-53
E-mail: stolbova.irina@gmail.com
Кафедра дизайна графики и начертательной геометрии
Пермский национальный исследовательский политехнический университет
www.pstu.ru

Irina D. Stolbova,
Doctor of Engineering Science, Head of Department
Tel.: (342) 239-10-53
E-mail: stolbova.irina@gmail.com
Perm National Research Polytechnical University
www. pstu.ru

го снижение часов, отведенных на теоретическую подготовку, за счет освоения практических приемов использования возможностей компьютерной графики при решении практико-ориентированных задач геометрического моделирования. При таком подходе освоение теоретических положений геометрии переходит от начертаний (вручную карандашом или с помощью графического редактора) на проекционных плоскостях к работе с определенным набором инструментов в виртуальном 3d-пространстве на экране компьютера [13].

Целью данной работы является разработка методики виртуального моделирования, агрегирующей в геометрических алгоритмах теоретические основы геометрии и практический инструментарий современных CAD-систем.

2. Концепция обновленной методики решения геометрических задач

За основу концепции взято положение о возможности включения концептуальных геометрических алгоритмов в технологию создания абстрактных графических объектов методами визуально-образного 3d-моделирования. Авторами разработаны учебные задачи, алгоритм решения которых базируется на синтезе геометрических основ начертательной геометрии и современного инструментария виртуального 3d-моделирования. Такой синтез стимулирует мыслительную деятельность обучаемого и одновременно развивает навыки работы с 3d-моделью, обеспечивая тем самым требуемое качество подготовки выпускника технического вуза.

В качестве инструментария для решения представляемых задач была выбрана широко известная отечественная система трехмерного моделирования КОМПАС-3D, которую можно считать наиболее распространенным продуктом и достаточно совершенным инструментом для обучения. Данный программный комплекс как инструмент, кроме того, что освобождает пользователя от рутинных графических построений, обладает и некоторым «интеллектом»: может, например, при заданных параметрах построить разрез или сечение в созданной модели. Однако для решения специфических вопросов, требующих базовых знаний начертательной геометрии, его «интеллекта» недостаточно. Так, КОМПАС «не знает», какую форму 3d-модели вы хотите получить (конус, тор, сферу и др.); как рассечь конус, чтобы получить определенную кривую второго порядка, и т.п. В этой связи в процессе геометрического 3d-моделирования часто требуется использовать изложенные в начертательной геометрии принципы «проекционного схематизма» [12], когда для решения задачи используются геометрические построения на «виде в плане» или пользователь на проекционной плоскости может увидеть неискаженными какие-то параметры модели.

Традиционно в число задач элементарной начертательной геометрии входят задачи на выявление натуральных параметров геометрических образов (метрические задачи), а также на построение конструкций, создаваемых в результате взаимодействия двух и более геометрических объектов (позиционные задачи). Разработанный практикум по геометрическому моделированию полностью не отказывается от задач начертательной геометрии, но изменяет постановку задачи, предусматривает обновленный алгоритм ее решения, благодаря применению новых инструментальных средств. Важно также отметить наличие в практикуме постановки геометрических задач с различными уровнями сложности, что позволяет учесть индивидуальную подготовленность обучаемых, а это особенно значимо при организации самостоятельной работы студентов.

Остановимся более подробно на поэтапном описании алгоритмов решений некоторых (предназначенных для студентов младших курсов) задач, демонстрирующих синтез основных положений теоретических основ начертательной геометрии и современных инструментальных средств геометрического моделирования, предоставляемых пользователю программой КОМПАС.

В приведенных ниже примерах содержание выбранных задач соответствует наиболее популярным темам геометрической дисциплины – это метрические характеристики геометрических образов (задачи 1, 1.1, 1.2) и анализ их взаимного расположения (задачи 2, 2.1).

3. Примеры обновленных алгоритмов графического решения задач

***Задача 1**. Создать модель трёхгранной пирамиды (рис. 1, А), удовлетворяющей следующим условиям:*

*– основанием пирамиды является правильный (равносторонний) треугольник с радиусом описанной окружности **R**;*

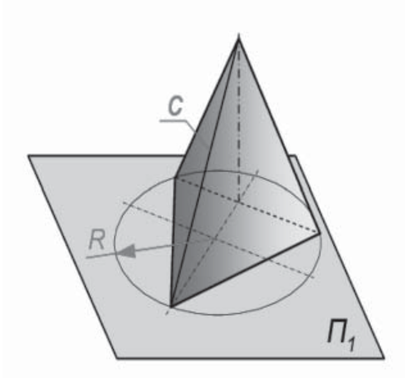
– одна из боковых граней (равнобедренный треугольник) перпендикулярна основанию;

*– натуральная величина большего бокового ребра равна **c**.*

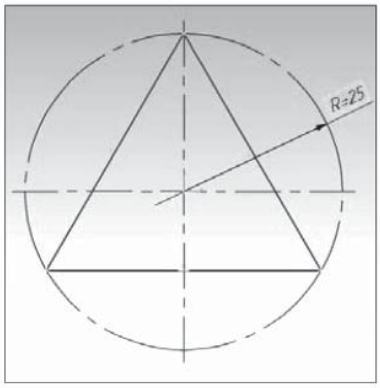
Рассмотрим основные этапы решения задачи.

1. В базовой плоскости выполняем построение основания пирамиды как равностороннего треугольника, вписанного в окружность заданного радиуса (рис. 1, Б). Для определенности примем значение радиуса описанной окружности равным 25.

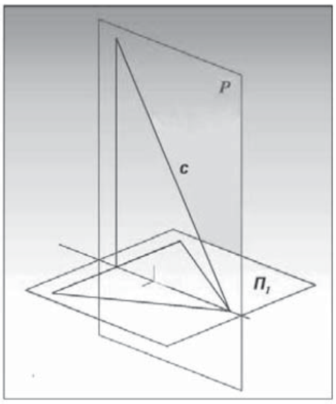
2. Выполним построения во вспомогательной плоскости ***P***, перпендикулярной основанию пирамиды и проходящей через ось симметрии основания (рис. 1, В). В этой плоскости проведем высоту *произвольного размера* для боковой перпендикулярной грани пирамиды. Теперь можно построить прямоугольный треугольник (произвольный), гипотенузой *c* которого является большее ребро пирамиды. Задав для параметра ***c*** конкретное численное значение, можно определить положение вершины конуса ***S*** для конкретизированного случая. Так, на рис. 1, Г изображен вид в плане прямоугольного треугольника с вершиной ***S*** при ***c*** = 70. Для точного размещения нижнего катета треугольника (рис. 1, В и Г) использовались параметрические



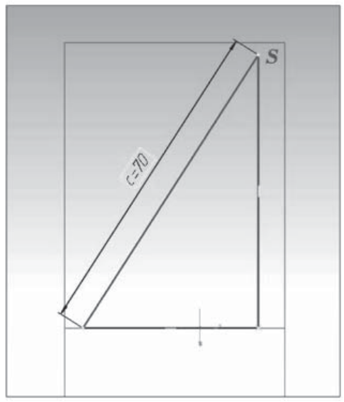
А. Параметрическая модель трехгранной пирамиды



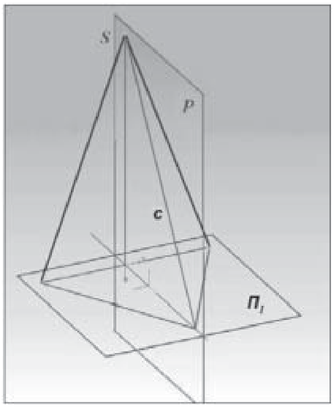
Б. Построение основания пирамиды



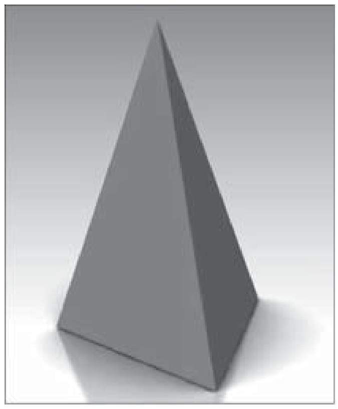
В. Построения во вспомогательной плоскости P



Г. Определение вершины пирамиды S

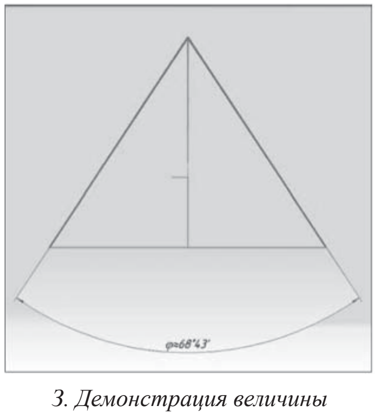


Д. Построение недостающих ребер пирамиды



Е. Модель трехгранной пирамиды

Ж. Построение плоскости, перпендикулярной ребру с



З. Демонстрация величины двугранного угла

Рис. 1. *Этапы решения задач 1 и 1.1* привязки к одной из вершин основания и к середине противоположной от этой вершины стороне треугольника (рис. 1, Б).

3. Для построения недостающих боковых равных ребер пирамиды построим пространственные отрезки, соединив с использованием параметрических привязок точку ***S*** – вершину пирамиды – с двумя свободными вершинами основания (рис. 1, Д). Визуализированный законченный вариант модели трехгранной пирамиды приведен на рис. 1, Е.

Для перехода на более высокий уровень постановки задачи добавляем этап геометрических построений, требующий так называемого в начертательной геометрии преобразования чертежа. Подобные построения продемонстрированы в задаче 1.1.

Задача 1.1. *Для модели, построенной в задаче 1, определить натуральную величину двугранного угла при ребре **c** между наклоненными боковыми гранями пирамиды.*

После построения законченного варианта модели (рис. 1, Е) перейдем к нахождению двугранного угла между боковыми гранями пирамиды при ребре *c*. Для этого достаточно провести плоскость ***T***, перпендикулярную ребру *c* пирамиды (рис. 1, Ж). Путем пересечения плоскости ***T*** с боковыми гранями пирамиды отобразим двугранный угол на этой плоскости. На рис. 1, З искомый угол с заданными параметрами пирамиды (***R*** = 25 и ***c*** = 70) изображен на виде в плане в форме линейного угла с определенным в ходе решения численным значением и изображением его натуральной величины на экране компьютера. В этом положении боковые грани пирамиды проецируются в отрезки, а ребро **с** – в точку (вершину угла).

Наиболее сложный уровень постановки задачи, требующий от студента демонстрации его высокой мыслительной деятельности, приведен в задаче 1.2, где для построения модели заданы более сложные условия комбинации ее параметров. В данной ситуации необходимо применение приема «преобразование чертежа» (способа вращения вокруг проецирующей прямой).

Задача 1.2. *Создать модель трехгранной пирамиды (рис. 1, А), удовлетворяющей следующим условиям:*

*– основанием пирамиды является правильный (равносторонний) треугольник с радиусом описанной окружности **R**;*

– одна из боковых граней (равнобедренный треугольник) перпендикулярна основанию;

*– натуральная величина двугранного угла при ребре **с** между наклоненными боковыми гранями пирамиды равна **φ**.*

Для данной задачи приведены иллюстрации основных этапов ее решения, требующих переходов на «виды в плане». Так, на рис. 2, А показано построение натуральной величины линейного угла, соответствующего заданному двугранному, в плоскости основания, а на рис. 2, Б – нахождение точки ***A***, через которую должно пройти боковое ребро ***c***. Именно эта точка будет являться вершиной заданного линейного угла и определяться вращением его плоскости вокруг стороны основания до требуемого положения.

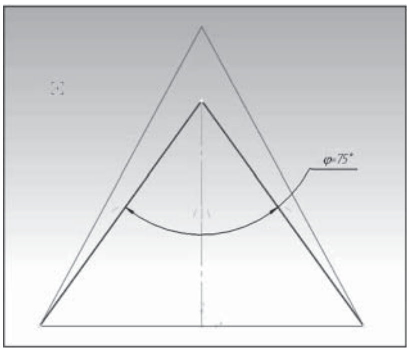
Более полно алгоритм построения просматривается на рис. 2, В, а твердотельная модель построенной пирамиды представлена на рис. 2, Г.

Задача 2. *Конус вращения (высота **H**, радиус основания **R**) и сферу разместить относительно друг друга так, чтобы они пересеклись по двум окружностям с диаметрами **a** и **b**.*

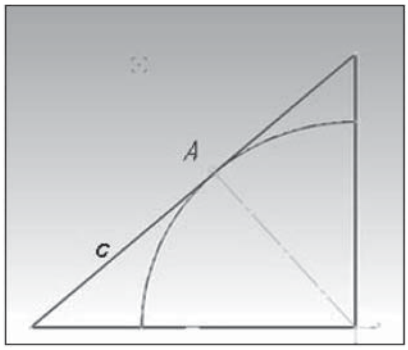
До начала построений студент должен представлять, что пересечение конуса и сферы по окружностям возможно лишь в случае, когда они соосны, т.е. центр сферы лежит на оси вращения конуса. В противном случае линии пересечения поверхностей будут представлять собой пространственные кривые.

Рассмотрим основные этапы решения данной задачи.

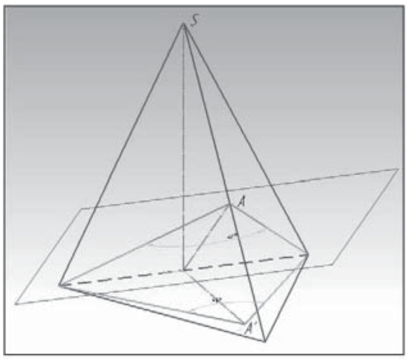
1. В базовой вертикальной плоскости создадим эскиз, позволяющий выполнить параметризацию конуса: откладываем радиус



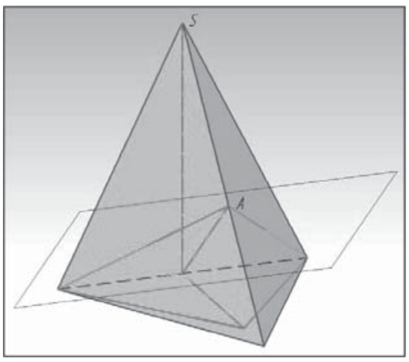
А. Построение линейного угла в плоскости основания



Б. Поворот плоскости линейного угла и построение ребра с



В. Построение недостающих ребер пирамиды



Г. Твердотельная модель пирамиды

Рис. 2. *Основные этапы решения задачи 1.2* основания ***R*** и высоту конуса ***H***; строим отрезки – ось вращения и образующую конуса (рис. 3, А). Задав процедуру вращения построенного контура вокруг оси конуса, получим параметрическую модель конуса вращения.

2. В базовой плоскости основания конуса построим окружности с диаметрами ***a*** и ***b***, по которым наши поверхности должны пересечься (рис. 3, Б).

3. Спроецируем окружности ***a*** и ***b*** на боковую поверхность конуса, перемещая их вдоль оси конуса (рис. 3, В).

4. Дальнейшие построения будем выполнять на виде в плане (рис. 3, Г). На рисунке обозначены точки пересечения ***A*** и ***B*** диаметров ***a*** и ***b*** с образующей конуса. Через середину отрезка ***AB*** проведем перпендикуляр до пересечения с осью конуса. Точка ***O*** пересечения перпендикуляра с осью конуса является центром сферы, радиус которой обозначен $\boldsymbol{R_{сферы}}$.

5. Для построения сферы проводится дуга полуокружности с радиусом $\boldsymbol{R_{сферы}}$, задав вращение которой вокруг оси, получаем модель сферы (рис. 3, Д). На рис. 3, Е выполнена визуализация поверхностей с требуемыми линиями пересечения, показанных в изометрии.

Данную задачу студенты решают в параметрическом виде и, изменяя значения параметров, могут проанализировать различные варианты пересечения конуса и сферы.

Более сложный вариант взаимного расположения геометрических моделей, ограниченных поверхностями вращения, рассмотрен в задаче 2.1.

Задача 2.1. *Создать модель, состоящую из пересекающихся сферы и конуса, с выполнением следующих условий:*

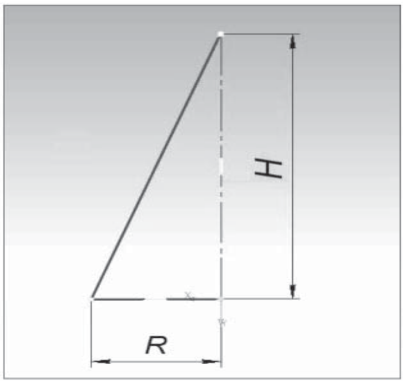
*– параметры конуса: радиус основания **R**, высота конуса **h**;*

*– сфера касается одной из образующих конуса (пересекая другие) в точке **A**, удаленной от основания конуса на расстояние **b**.*

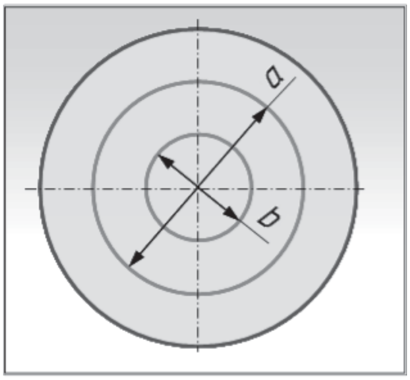
До начала построений студент должен представлять, что пересечение конуса и сферы будет происходить по пространственной кривой, разделенной точкой А на две петли, а центры задаваемых вариантов используемых сфер должны быть каким-то образом связаны с этой точкой. Для выполнения задания можно обосновать выбор параметров: радиуса сферы и удаления ее центра от основания конуса – для получения наиболее наглядной модели с полным пересечением поверхностей.

Рассмотрим основные этапы решения данной задачи.

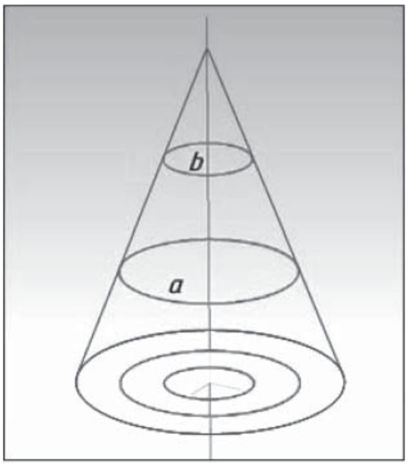
1. В базовой вертикальной плоскости создадим эскиз, позволяющий выполнить параметризацию конуса: откладываем радиус основания *R* и высоту конуса *h*;



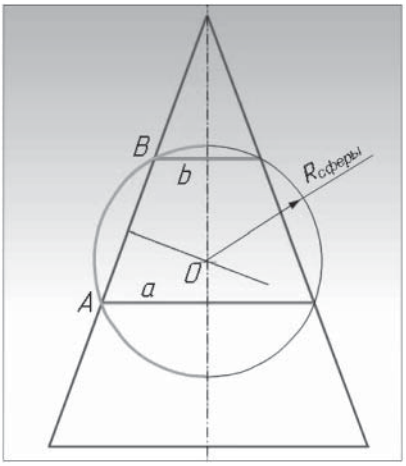
А. Параметрическая модель конуса



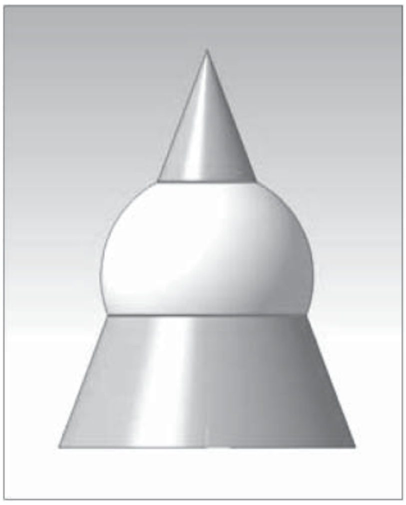
Б. Построение диаметров a и b в базовой плоскости основания конуса



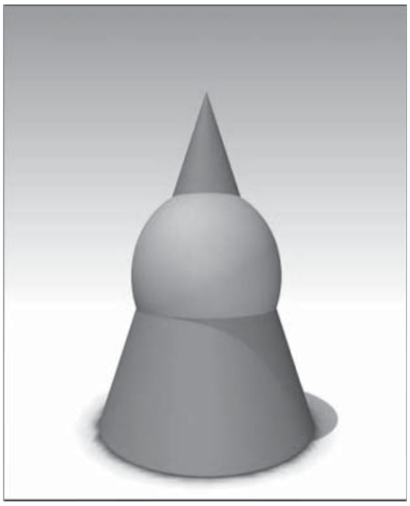
В. Перемещение окружностей вдоль оси конуса



Г. Определение радиуса сферы



Д. Модель на виде в плане



Е. Изометрия модели

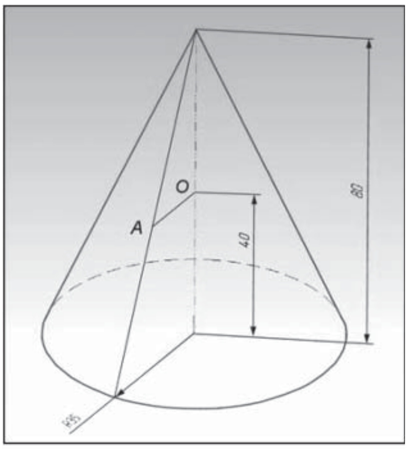
Рис. 3. *Этапы решения задачи 2*

строим отрезки – ось вращения и образующую конуса. Задав процедуру вращения построенного контура вокруг оси конуса, получаем параметрическую модель конуса вращения (рис. 4, А). На одной из образующих конуса путем несложных построений располагаем точку будущего касания сферы А.

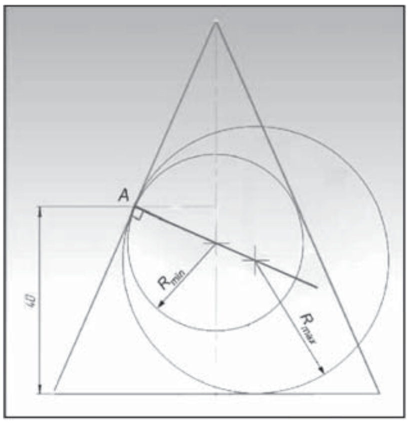
2. Для нахождения искомого места расположения центра сферы (с выбранными параметрами) переведем конус на вид в плане (рис. 4, Б) и проведем перпендикуляр к образующей из точки касания А, на котором должен находиться центр сферы. Необходимо провести анализ возможного диапазона значений радиуса рабочей сферы: *Rmin* < $\boldsymbol{R_o}$ < *Rmax*. Минимальный радиус будет у сферы, касающейся поверхности конуса, а максимальный – у сферы, касающейся основания конуса.

3. В промежутке найденного интервала располагаем центр О рабочей сферы. Для построения сферы проводится дуга полуокружности с радиусом $\boldsymbol{R_o}$, задав вращение которой вокруг оси, получаем модель сферы (рис. 4, В).

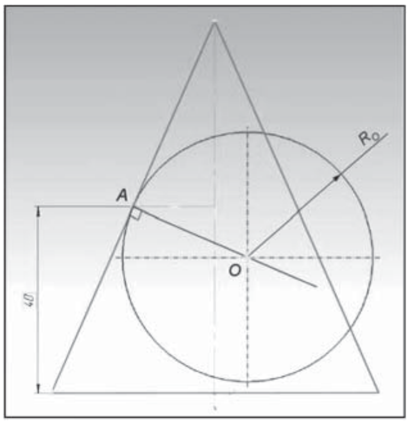
4. На рис. 4, Г (модель) и 4, Д (визуализация) построены заданные поверхности с требуемой линией пересечения, которая проанализирована и оформлена с учетом ее видимости.



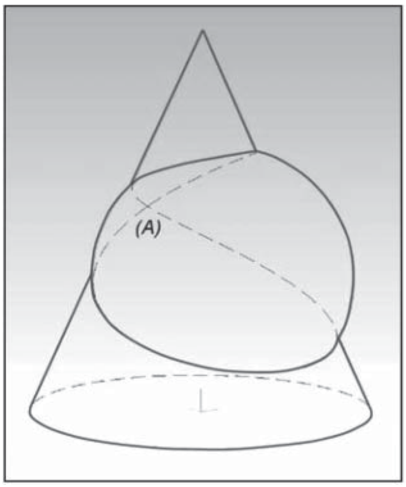
А. Параметрическая модель конуса



Б. Определение диапазона возможных радиусов сферы



В. Построение выбранной модели сферы



Г. Построение линии пересечения сферы и конуса

Д. Визуализация модели

Рис. 4. *Этапы решения задачи 2.1*

Заключение

В работе затронуты вопросы разработки инновационной методики преподавания геометро-графических дисциплин, направленной на сближение современных технологий проектно-конструкторских работ с технологией обучения.

Авторы считают, что в данной работе наиболее важными являются следующие положения и результаты:

1. Разработаны новые алгоритмы решения геометрических задач, основанные на синтезе основ традиционной начертательной геометрии и современного инструментария визуально-образного моделирования. Приведенные примеры показывают новые возможности в обучении геометро-графическим дисциплинам, которые открываются при внедрении компьютерных технологий в алгоритмы решения геометрических задач, так необходимых для будущих проектировщиков и конструкторов.

2. Предлагаемые инновации помогают решать проблему дефицита временных ресурсов, выделяемых на освоение графических дисциплин. Использование компьютерных технологий значительно снижает трудоемкость операций, необходимых для достижения запланированного результата геометрических построений, а следовательно, и время учебных занятий используется более эффек-

тивно. Компьютерные технологии не только многократно ускоряют процесс решения задачи, но и дают новое качество полученного результата, выдавая конечное численное значение с точностью, значительно превышающей точность традиционных измерительных чертежных инструментов (линейка, циркуль, транспортир и др.).

3. Новая методика позволяет оптимизировать процесс обучения. Появляется возможность дифференцированного подхода, когда можно варьировать сложность учебных заданий с учетом индивидуальных способностей студентов и их заинтересованности в развитии компетенций в области геометрического моделирования [14]. В практикуме представлены задачи различного уровня сложности, как по трудоемкости требуемых операций 3d-моделирования, так и по знанию геометрических основ. В любом случае при этом совершенствуется инструментальная подготовка будущих технических специалистов, по-новому формируется их пространственное воображение, развивается творческое мышление и повышается компетентностный потенциал для будущих разработок в области проектно-конструкторской деятельности.

4. Апробирование представленной методики показало, что обновленные варианты алгоритмов геометрических задач с использованием современных компьютерных технологий воспринимаются студентами с интересом, а их успехи в обучении хорошо просматриваются при проведении контрольных мероприятий.

Литература

1. *Александрова Е.П., Крайнова М.Н., Столбова И.Д., Корнилкова Е.В.* Вопросы содержания и реализации графической подготовки в вузе при переходе на образовательные стандарты нового поколения [Электронный ресурс] // Проблемы качества графической подготовки в условиях ФГОС ВПО: материалы международной научно-практической интернет-конференции. – Режим доступа: http://dgng.pstu.ru/conf2011/members/59/ (дата обращения: 01.05.2014).
2. *Фокина Н.И., Бощенко Т.В.* Поиск эффективной методической системы обучения студентов компьютерной графике // Геометрия и графика. – 2013. – Т. 1. – № 1. – С. 68–69.
3. *Рукавишников В.А., Усанова Е.В.* Вопросы технологизации базовой графической подготовки // Информатизация инженерного образования: тр. Междунар. науч.-метод. конф. (г. Москва, 15–16 апр. 2014 г.). – М.: Изд-во МЭИ, 2014. – С. 125–128.
4. *Столбова И.Д., Александрова Е.П., Крайнова М.Н.* Модульная технология управления предметной подготовкой студентов // Университетское управление: практика и анализ. – 2012. – № 5 (81). – С. 88–95.
5. *Соснин Н.В.* О структуре содержания обучения в компетентностной модели // Высшее образование в России. – 2013. – № 1. – С. 20–23.
6. *Столбова И.Д.* Управление качеством предметного обучения на основе компетентностного подхода // Университетское управление: практика и анализ. – 2011. – № 3. – С. 55–61.
7. *Рукавишников В.А., Габбасов М.Ф., Тазеев И.Р.* Студенческое конструкторское бюро как ключевой фактор формирования современных специалистов моделирования [Электронный ресурс] // IV Межд. интернет-конф. КГП2014. – Режим доступа: http://dgng.pstu.ru/conf2012/papers/88/ (дата обращения: 01.04.2014).
8. *Гузненков В.Н.* Применение информационных технологий в графических дисциплинах технического университета // Информационные и телекоммуникационные технологии. – 2013. – № 17. – С. 37–40.
9. *Хейфец А.Л.* Реорганизация курса начертательной геометрии как актуальная задача развития кафедр графики // Геометрия и графика. – 2013. – Т. 1. – № 2 (2). – С. 21–23.
10. *Волошинов Д.В.* О перспективах развития геометрии и ее инструментария [Электронный ресурс] // IV Межд. интернет-конф. КГП2014. – Режим доступа: http://dgng.pstu.ru/conf2012/ papers/67/ (дата обращения: 1.04.2014).
11. *Бурлов В.В., Нестеренко Л.А., Юдина Е.Ю.* Организация учебного процесса по начертательной геометрии в Пензенской технологической академии // Геометрия и графика. – 2013. – Т. 1. – № 2 (2). – С. 14–17.
12. *Волошинов Д.В., Соломонов К.Н.* Конструктивное геометрическое моделирование как перспектива преподавания графических дисциплин // Геометрия и графика. – 2013. – Т. 1. – № 2 (2). – С. 10–13.
13. *Талалай П.Г.* Компьютерный курс начертательной геометрии на базе КОМПАС-3D. 2010.pdf.
14. *Столбова И.Д.* Организация предметного обучения: компетентностный подход // Высшее образование в России. – 2012. – № 7. – С. 10–20.