

Захаров Н. М., Хуснутдинов И. Ш.,
Бабин А. Ю.
Уфимский государственный
нефтяной технический
университет, филиал в г. Салавате,
Российская Федерация

N. M. Zakharov, I. Sh. Khusnutdinov,
A. Yu. Babin
Ufa State Petroleum Technological
University, Branch in the Salavat,
the Russian Federation

Для обучающихся в ВУЗах важную роль в освоении нового материала играют электронные учебные комплексы, которые помогают понять сложные процессы, зачастую скрытые от глаз. При самостоятельной работе различные операции, связанные с расчетами, чертежами и визуальным представлением объекта вызывают у обучающихся затруднения. Существует несколько видов электронных учебных комплексов, целью которых является систематизация учебного материала, проведение математических расчетов или моделирование механических и технологических процессов.

Благодаря трехмерному моделированию учебные комплексы доступно представляют сложную информацию, позволяют наблюдать за механическими процессами, изучать внутреннее техническое устройство машин и аппаратов.

Для решения проблемы визуализации приводов технологического оборудования предлагается вариант учебного комплекса ЭУК-1, который включает в себя:

- сборник видео демонстраций компоновок наиболее распространенных типов приводов и редукторов;

- сборник моделей с возможностью «3D - навигация».

В работе проанализированы основные этапы разработки компьютерной программы, разработана методика создания трехмерных моделей приводов технологического оборудования.

На основе метода трехмерного компьютерного моделирования были созданы модели редукторов и приводов технологического оборудования в программе «КОМПАСС-3D», при помощи которых производится демонстрация их компоновки и создаются модели для самостоятельного обзора. Разработан интерфейс комплекса, позволяющий пользователю без затруднений выбрать необходимую для визуализации модель.

Применение учебного комплекса позволит в значительной мере решить проблему пространственного представления механизмов и приводов технологического оборудования, оптимизировать учебный процесс при изучении дисциплины «Детали машин и основы конструирования».

For studying in the higher educational institutions the main part in the mastering of the new material is played by the electronic study complexes which help to understand complicated processes that can't be seen with one's own eyes. During the independent work various operations connected with calculations, drawings and visual imagination of the object cause difficulties to the students. There are several types of electronic study complexes the purpose of which is the systematization of the study material, making mathematical calculations or modeling of the mechanical and technological processes.

Due to the three-D modeling the study complexes provide complicated information in an accessible way, allow watching the mechanical processes, to study the inner technical structure of machines and apparatus (1).

For solving the problem of technological equipment drives visualization we offer the study complex variant EUK-1 which includes:

- collection of video demonstrations of the assemblies of the most common drives and gears types;

- collection of the models with "3D-navigation" capacity.

In the work the main stages of computer program development have been analyzed, the methods of three-D technological equipment drives' creation has been developed. On the basis of three-D computer modeling method the gear models and the technological equipment drives have been created in the program "COMPASS -3D" with the help of which their assemblies' demonstration is made and the models for an independent observations are created. The complex interface has been developed which allows the user to choose the model necessary for visualization.

The use of the study complex will allow to a high extent to solve the problem of the spatial imagination of the mechanisms and the technological equipment drives, to optimize the study process in mastering the discipline "Machine parts and the fundamentals of construction".

Ключевые слова: редуктор, привод технологического оборудования, моделирование, компас, компьютерная графика, сборка, учебный комплекс, механическая передача, анимация, демонстрация

Key words: gear, technological equipment drive, modeling, compass, computer graphics, assembly, study complex, mechanical transmission, animation, demonstration.

Современное технологическое оборудование обычно представляет собой сложный комплекс, в состав которого входят многочисленные механизмы, устройства и двигатели, приводящие в действие рабочие органы машин, вспомогательные системы,

обеспечивающие бесперебойную работу оборудования, и единая система управления [1]. Для реализации движений, положений или усилий на рабочих органах применяют электрические, гидравлические, пневматические, механические и комбинированные приводы, имеющие один или несколько двигателей. Использование различных видов энергии в приводах, вспомогательных системах и системах управления невозможно без овладения соответствующими знаниями и практическими навыками проектирования и эксплуатации оборудования [2].

Для оптимизации учебного процесса предлагается электронный учебный комплекс для изучения конструкции механических передач и приводов на

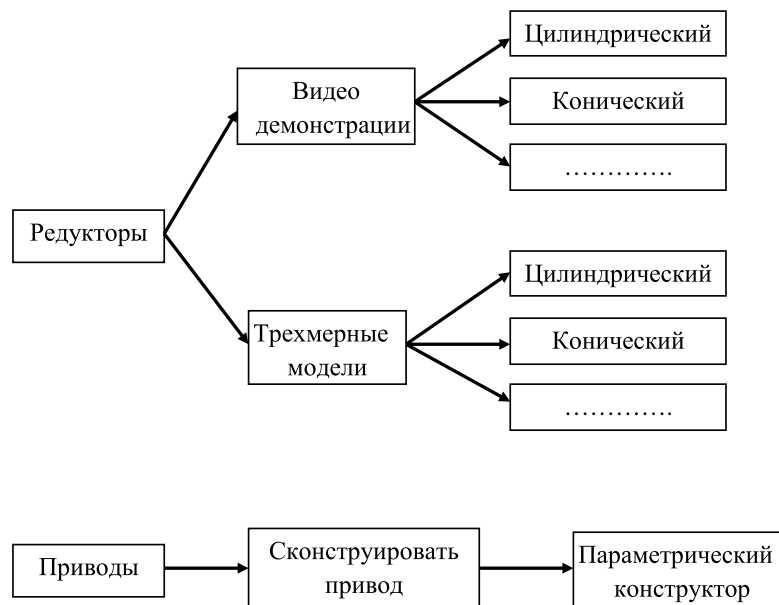


Рисунок 1. Принципиальная схема программы ЭУК-1

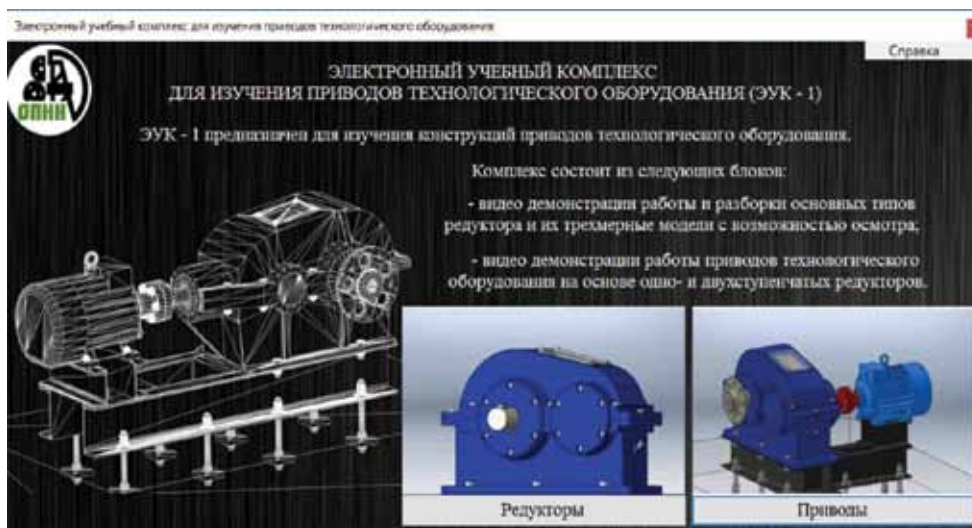


Рисунок 2. Начальное окно программы ЭУК-1

их основе, который представляет собой компьютерную программу, содержащую видео демонстрации разборки и процесса работы механизмов, а также трехмерные модели с возможностью «3D - навигация».

Учебный комплекс состоит из двух основных разделов: моделей редукторов («Редукторы») и моделей приводов на их основе («Приводы»). Принципиальная схема программы представлена на рисунке 1.

Снимок начального экрана программы представлен на рисунке 2.

Перейдя в раздел «Редукторы» (рисунок 3) пользователь переходит к следующему выбору: «Видео демонстрации» (рисунок 4) или «Трехмерные модели» (рисунок 5).

Из раздела «Приводы» через информационное окно (рисунок 6) пользователь попадает в окно кон-

структора, где путем выбора необходимых параметров производит сборку требуемого привода (рисунок 7).

Навигация в трехмерном пространстве очень важна для анализа и изучения 3D-моделей. «3D-навигация» – это возможность самостоятельного детального осмотра редукторов и их составных частей. Пользователь при помощи простых и интуитивно понятных манипуляций мышью может свободно взаимодействовать с 3D-моделью редуктора, производить осмотр с любого ракурса, скрывать и отображать части модели, рассекать и делать прозрачными составные элементы и т.д. Функция «3D-навигации» по моделям позволяет сделать процесс изучения редукторов эффективнее, быстрее, нагляднее и проще, даже в сравнении с обучением на реальных макетах механизмов (рисунок 8).



Рисунок 3. Раздел «Редукторы»

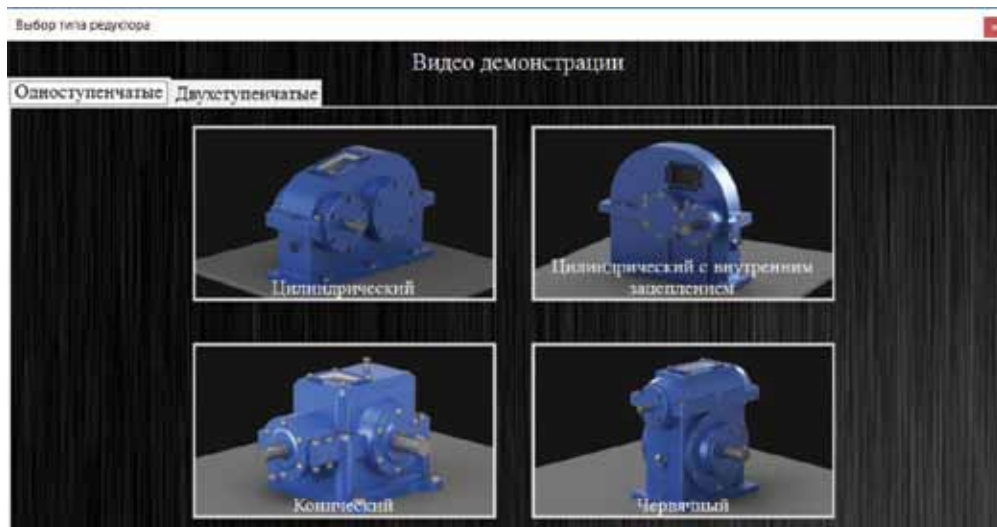


Рисунок 4. Подраздел «Видео демонстрации»

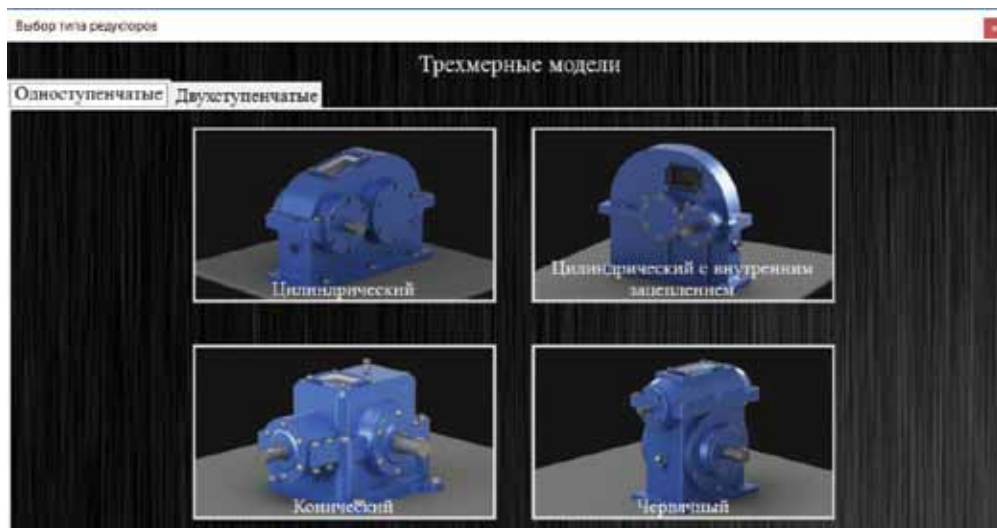


Рисунок 5. Подраздел «Трёхмерные модели»



Рисунок 6. Информационное окно раздела «Приводы»



Рисунок 7. Конструктор приводов технологического оборудования

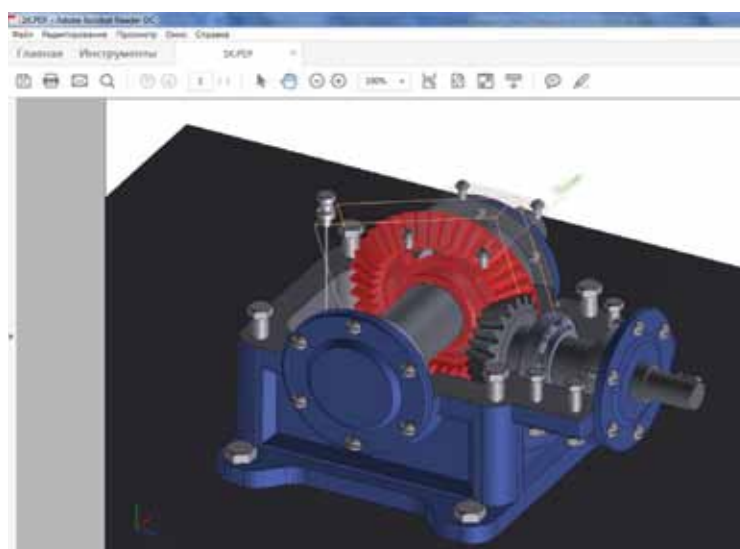


Рисунок 8. Процесс работы в режиме «3D-навигация»

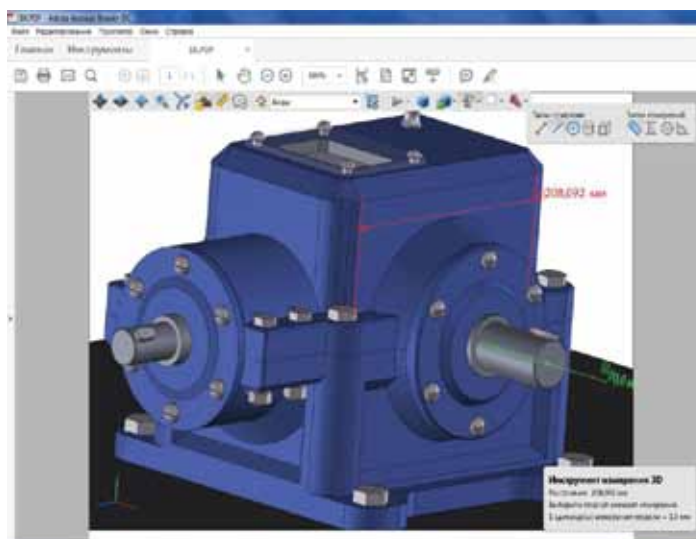


Рисунок 9. Процесс измерения модели

Функция «3D-навигации» стала доступной благодаря использованию «SolidWorks» с возможностью конвертировать модель в самостоятельный файл формата PDF. Просматривать высококачественное 3D-содержимое, встроенное в документ PDF, позволяет программа «Adobe Acrobat». «Adobe Acrobat» также имеет возможность измерения 3D-объектов. Функция «Типы измерения» на палитре «Инструмент измерения 3D» имеет следующие параметры (рисунок 9):

- «последовательное измерение 3D в отдельных точках» – измеряет расстояние между двумя положениями на 3D-модели;
- «3D Перпендикулярный размер» – позволяет измерить расстояние между двумя краями от правого угла к начальному краю;
- «3D Радиальный размер» – позволяет измерить радиус в месте щелчка;
- «3D Измерение углов» – позволяет измерить угол между двумя краями [3].

Разработка компьютерной программы состоит из нескольких последовательных этапов:

1. Создание раздела «Редукторы»:

- создание трехмерных моделей деталей редукторов;
- построение сборок скомпонованных редукторов из уже готовых деталей;
- переформатирование сборок редукторов из системы «КОМПАС-3D» в систему «SolidWorks»;
- создание PDF файлов на основе моделей редукторов с возможностью «3D-навигации»;
- создание анимированной разборки редукторов в системе «SolidWorks»;
- создание видео демонстраций разборки редукторов [4];

2. Создание раздела «Приводы»:

- создание трехмерных моделей деталей внешних механических передач и рам приводов;

- построение сборок технологических приводов из готовых моделей деталей и редукторов;
- переформатирование сборок приводов из системы «КОМПАС-3D» в систему «SolidWorks»;
- создание анимации компоновок приводов в системе «SolidWorks»;
- создание видео демонстраций компоновок приводов.

3. создание компьютерной программы комплекса на базе «Visual Studio 12».

Трехмерная модель редуктора является результатом следующих групп операций:

- 1) расчет и разработка конструкции зубчатых колес (рисунок 10);
- 2) построение валов в зависимости от размеров зубчатых колес (рисунок 11);
- 3) создание подборки, включающей в себя построение зубчатого зацепления и посадку зубчатых колес на валы (рисунок 12);
- 4) подборка и установка подшипников (из библиотеки), создание распорных и уплотнительных колец (рисунок 13);
- 5) разработка корпуса, крышки редуктора, крышек подшипников в зависимости от размеров полученных деталей (рисунок 14);
- 6) установка готовой подборки в корпус редуктора (рисунок 15);
- 8) фиксация фланцевого соединения элементов корпуса, крышек подшипников, корпуса к плите (раме) при помощи крепежных элементов (рисунок 16).

Трехмерная модель технологического привода является результатом следующих групп операций:

- 1) расчет и построение внешней передачи между электродвигателем и редуктором (муфты или ременной передачи);



Рисунок 10. Построение модели зубчатого колеса

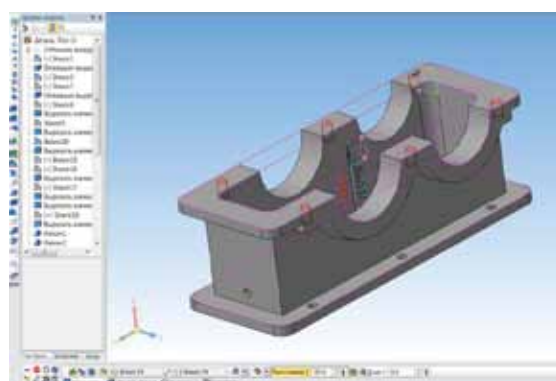


Рисунок 14. Разработка корпуса редуктора

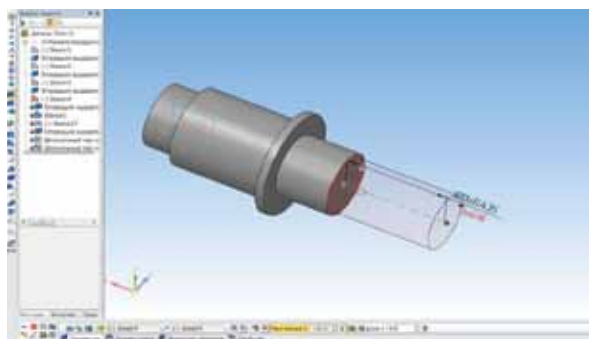


Рисунок 11. Построение модели вала

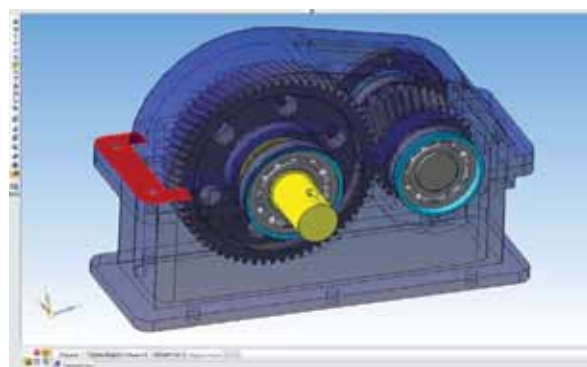


Рисунок 15. Установка подборки в корпус редуктора

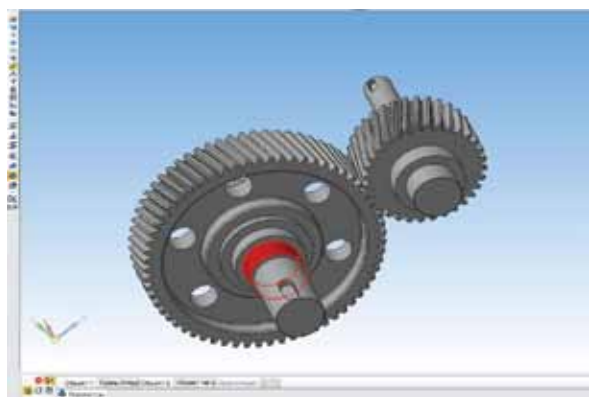


Рисунок 12. Создание подборки

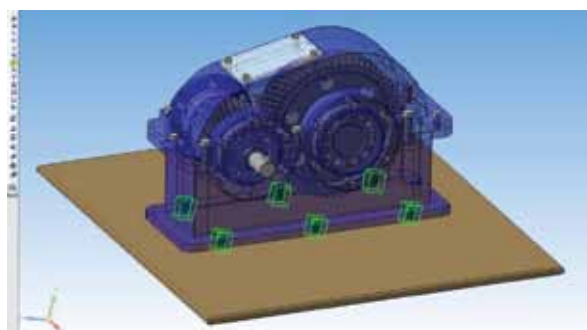


Рисунок 16. Фиксация редуктора на опорной плите

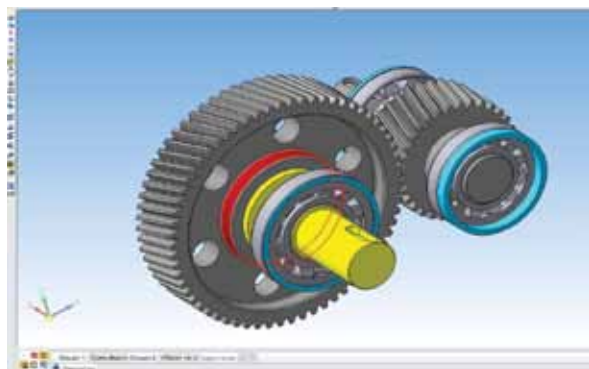


Рисунок 13. . Монтаж подшипников

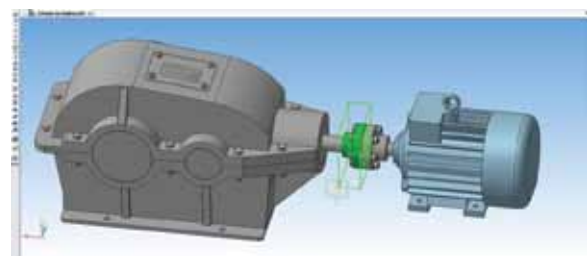


Рисунок 17. Установка элементов внешней передачи

2) установка элементов внешней передачи на входной вал редуктора и вал электродвигателя; базирование редуктора и электродвигателя (рисунок 17);

3) построение рамы на основе взаимного расположения узлов привода (рисунок 18, рисунок 19);

4) установка узлов привода на раму (рисунок 20);

5) соединение всех компонентов с помощью крепежных элементов (рисунок 21);

6) создание фундамента и крепление к нему рамы привода с помощью фундаментных болтов (рисунок 22);

7) установка элемента внешней передачи на выходной вал редуктора (полумуфта, шкив, зубчатое колесо или звездочка) (рисунок 23).

Достаточно сложным элементом в создании модели привода технологического оборудования является рама. На ней устанавливаются все комплектующие привода или механизма. С помощью рамы комплектующие жестко связываются между собой, а рама, в свою очередь, закрепляется с помощью фундаментных болтов или других элементов к фундаменту. Сложность создания рамы заключается в том, что проектировщику одновременно необходимо учитывать следующие факторы:

- вид механической передачи (между редуктором и электродвигателем) и ее особенности;
- относительное положение узлов;
- присоединительные размеры узлов;
- относительное положение валов редуктора и электродвигателя.
- обеспечение жесткости и прочности конструкции;
- обеспечение доступа к местам закрепления комплектующих, возможности обслуживания и осмотра устройств.

Рама должна обеспечивать точность базирования и присоединения элементов привода или механизма и иметь достаточную жесткость, обеспечивающую долговременное взаимодействие установленных элементов. Рама воспринимает статические и динамические нагрузки, возникающие в процессе работы механизмов, и должна воспринимать их, сохраняя присоединительные размеры между элементами механизмов и собственные размеры [5].

Как правило, рамы приводов изготавливают путем сварки сортового проката – швеллеров, уголков, полос и листов. В моделях приводов учебно-методического комплекса УМК-1 рамы в основном изготовлены из стандартных швеллеров согласно ГОСТ 8240-97 «Швеллеры стальные горячекатаные» [6].

Процесс создания рамы представлен на рисунках 24 и 25.

Трехмерные модели создавались в системе «КОМПАС 3D» от российской компании «Аскон», которая предназначена для формирования

3D-моделей деталей и сборочных единиц, содержащих оригинальные и стандартизованные конструктивные элементы. Параметрическая технология дает возможность быстро получать модели типовых изделий на основе спроектированного прототипа.

Кроме этого данная система была выбрана по причине ее доступности, простоты интерфейса и возможностей импорта и экспорта моделей в другие среды.

Общим порядком моделирования твердого тела является последовательное выполнение булевых операций над объемными элементами. Создается такое перемещение плоской фигуры в пространстве, след от которого задает форму объемного элемента. Многократным выполнением этих операций над различными объемными элементами сформированы модели деталей, входящих в каждое из десяти изделий [7].

С целью создания более детальных и качественных анимаций процесса разборки редукторов и приводов и получения реалистичных изображений механизмов производилось переформатирование сборок из системы «КОМПАС-3D» в систему «SolidWorks».

Система автоматизированного проектирования «SolidWorks» – программное обеспечение, созданное для использования на персональных компьютерах в операционной среде Windows, что позволяет говорить о его простоте, доступности в освоении, дешевизне и эффективности. В системе «SolidWorks» существует полная интеграция со всеми стандартными приложениями Microsoft: Word, Excel, PowerPoint. Кроме того, в стандартную версию «SolidWorks» включены опциональные модули по созданию фотореалистичных изображений. Для организации комплекса конструкторско-технологической подготовки производства системой «SolidWorks» предлагается целый ряд партнерских программ, решающих широкий класс инженерных задач [8].

Для открытия файла формата PDF и использования функции «3D-навигация» использовалась система Adobe Acrobat. Adobe Acrobat – это совокупность продуктов, предназначенных для создания и управления документами PDF. Программа позволяет создавать собственные документы, формы, презентации и многое другое. Нынешние технологии предусматривают вставку в PDF анимации, аудио- и видеофайлов [9].

Создание компьютерной программы производилось на базе «Visual Studio 12». «Microsoft Visual Studio» – это разработка компании «Microsoft», позволяющая создавать приложения, работающие на платформе «.net». Особенность этой платформы заключается в широком наборе сервисов, которые доступны в различных языках программирования. При этом сервисы реализуются в виде промежуточ-

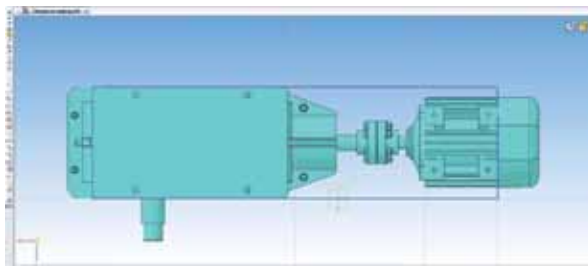


Рисунок 18. Построение рамы с учетом габаритов элементов привода

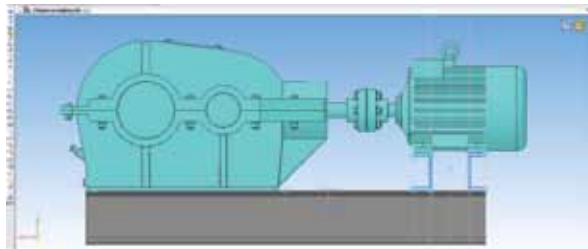


Рисунок 19. Построение рамы на основе разности высот между посадочными поверхностями узлов

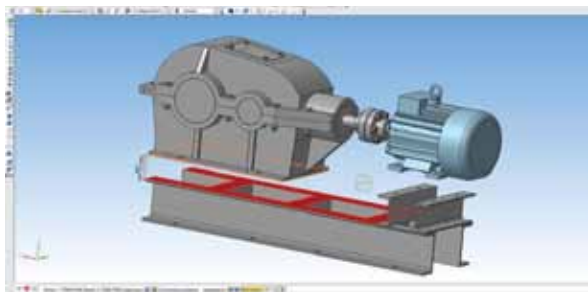


Рисунок 20. Процесс установки узлов на раму

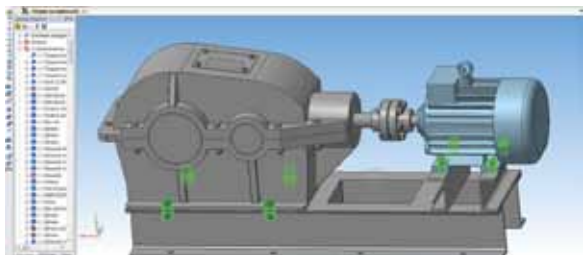


Рисунок 21. Соединение узлов с помощью крепежных элементов

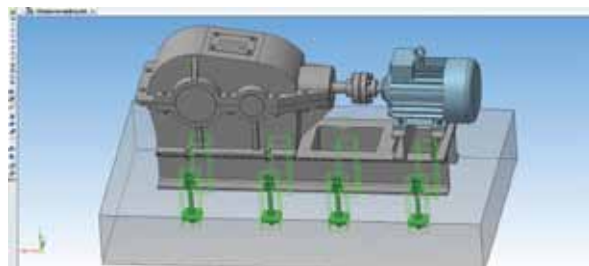


Рисунок 22. Крепление рамы с помощью фундаментных болтов

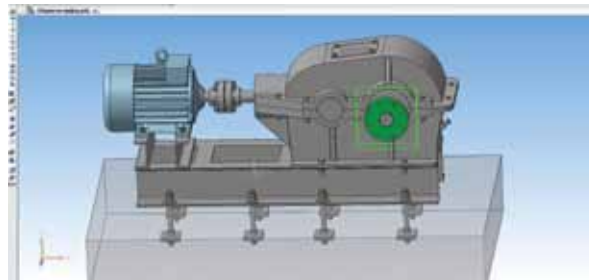


Рисунок 23. Установка полумуфты на выходной вал редуктора

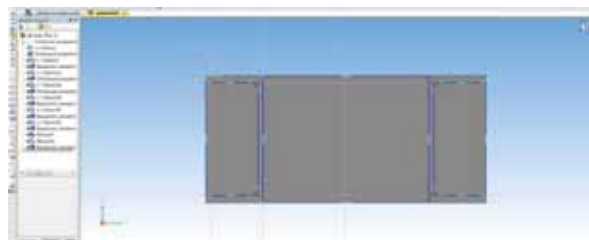


Рисунок 24. Создание эскиза элемента рамы

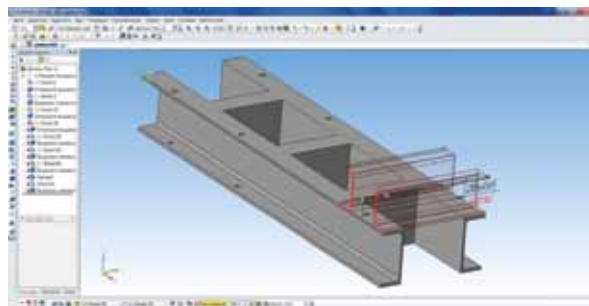


Рисунок 25. Создание элемента рамы методом «выдавливания»

ного кода, который не зависит от базовой архитектуры. «Microsoft Visual Studio» – это обновленная и упрощенная программная среда, для которой характерна высокая производительность, независимо от особенностей оборудования [10].

Среда «Microsoft Visual Studio» была выбрана по следующим причинам: возможность создания приложений для Windows, Android и iOS; среда содержит интегрированные конструкторы, редакторы, отладчики и профилировщики; возможность программирования на C#, C++, JavaScript, Python, TypeScript, Visual Basic, F# и других языках [11].

Выводы

1 Определен состав учебного комплекса, который содержит:

- блок «Редукторы», включающий в себя видеодемонстрации и трехмерные модели механизмов;
- блок «Приводы», включающий в себя конструктор и видеодемонстрации приводов технологического оборудования.

2 Выбраны электронные продукты «КОМПАС - 3D», «SolidWorks», «Visual Studio 12».

3 Разработаны 3D-модели наиболее часто применяемых в машиностроении редукторов и приводов технологического оборудования.

4 На базе «Visual Studio 12» разработан комплекс «Приводы технологического оборудования» для самостоятельной работы обучающихся.

5 Разработан пользовательский интерфейс, включающий в себя десять 3D-демонстраций, моделирующих порядок разборки механизмов, десять 3D-моделей редукторов с функцией «3D-навигация»,

восемьдесят вариантов приводов технологического оборудования.

Дальнейшие разработки будут посвящены расширению учебно-методического комплекса путем создания 3D-спецификации деталей имеющихся редукторов с возможностью «3D-навигации».

СПИСОК ИСПОЛЪЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Ступин А. В., Сариллов М. Ю. Детали машин и основы конструирования: учеб. пособие // Международный журнал экспериментального образования. 2011. №12. С. 3.

2 Education Library. Предмет гидравлики // Лаборатория сети Интернет ПГТА. 2013-2016. URL: <http://edulib.pgta.ru> (Дата обращения 07.03.2016).

3 SolidWorks. Основные усовершенствования: // Dassault Systemes. 1995-2016. URL: www.solidworks.com (Дата обращения 09.03.2016).

4 Захаров Н. М., Хуснутдинов И. Ш., Бабин А. Ю. Учебный комплекс для самостоятельного изучения механических передач // Нефтегазовое дело: электрон. науч. журн. 2015. № 6. С. 611-623. URL: http://ogbus.ru/issues/6_2015/ogbus_6_2015_p611-623_ZakharovNM_ru.pdf.

5 Центр поддержки. Обзор Модели (3D-навигация) // GRAPHISOFT SE. 2015. URL: <http://helpcenter.graphisoft.ru> (Дата обращения 07.03.2016).

6 Курмаз Л. В., Курмаз О. Л. Конструирование узлов и деталей машин: справоч.-учеб.-метод. пособие. М.: Высшая школа, 2007. 455 с.: ил.

7 Ваншина Е. А. 3D-моделирование сборок изделий в системе САПР // Технические науки – от теории к практике. 2013. № 21.

8 Начертательная геометрия и инженерная графика – Обоснование выбора программных средств 3D-моделирования // StudFiles. URL: <http://www.studfiles.ru> (Дата обращения 26.10.2015).

9 Adobe Acrobat. Описание программы: // Чем открыть. 2011-2015. URL: <http://chem-otkrit.ru> (Дата обращения 10.03.2016).

10 Microsoft Visual Studio. Описание программы // Чем открыть. 2011-2015.

URL: <http://chem-otkrit.ru> (Дата обращения 10.10.2015).

11 Visual Studio. Microsoft Developer Tools // Microsoft. 2015. URL: <https://www.visualstudio.com> (Дата обращения 10.10.2015).

REFERENCES

1 Stupin A. V., Sarilov M. Ju. Machine parts and design principles. *Mezhdunarodnyj zhurnal jeksperimental'nogo obrazovanija - International Journal of experimental education*, 2011, no.12, pp. 3. [in Russian].

2 Education Library. The subject of the Hydraulics. Laboratory of the Internet PGTA. 2013-2016. [in Russian] Available at: <http://edulib.pgta.ru> (accessed 07.03.2016).

3 SolidWorks. Major enhancements. Dassault Systemes. 1995-2016. [in Russian]. Available at: www.solidworks.com (accessed 09.03.2016).

4 Zaharov N. M., Husnutdinov I. Sh., Babin A. Ju. [Educational complex for the independent study of mechanical transmissions]. *Neftegazovoe delo - Oil and gas business*, 2015. no. 6, pp. 611-623. [in Russian] Available at: http://ogbus.ru/issues/6_2015/ogbus_6_2015_p611-623_ZakharovNM_ru.pdf.

5 Center of support. Model (3d-navigation) review. GRAPHISOFT SE. 2015. [in Russian]. Available at: <http://helpcenter.graphisoft.ru>. (accessed 07.03.2016).

6 Kurmaz L. V., Kurmaz O. L. *Konstruirovaniye uzlov i detalej mashin* [Design of parts and units of machines]. *Spravochn.-ucheb.-metod. posobie*. Moscow: Vysshaja shkola Publ., 2007. 455 p. [in Russian].

7 Vanshina E. A. 3D modeling CAD system product assemblies. *Tekhnicheskie nauki - ot teorii k praktike – Technical science - from theory to practice*, 2013, no. 21. [in Russian].

8 Descriptive geometry and engineering graphics – substantiation of choice of 3D modeling software. StudFiles. [in Russian] Available at: <http://www.studfiles.ru>. (accessed 26.10.2015).

9 Adobe Acrobat. *Opisanie programmy* [Adobe Acrobat. Description of the program] *Chem otkryt'*. 2011-2015. [in Russian] Available at: <http://chem-otkrit.ru>. (accessed 10.03.2016).

10 Microsoft Visual Studio. *Opisanie programmy* [Microsoft Visual Studio. Description of the program] *Chem otkryt'*. 2011-2015. [in Russian] Available at: <http://chem-otkrit.ru>. (accessed 10.10.2015).

11 Visual Studio. Microsoft Developer Tools . Microsoft. 2015. Available at: <https://www.visualstudio.com> (accessed 10.10.2015).

Захаров Н. М., канд. техн. наук, доцент кафедры «Оборудование предприятий нефтехимии и нефтепереработки», ФГБОУ ВО УГНТУ, филиал в г. Салавате, Российская Федерация
N. M. Zakharov, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Chair «Equipment for Petrochemical and Oil Refining» FSBEI HE USPTU, Branch in the Salavat, the Russian Federation e-mail: nick.macs@yandex.ru

Хуснутдинов И. Ш., бакалавр, группа БМА 12-21, кафедра «Оборудование предприятий нефтехимии и нефтепереработки», ФГБОУ ВО УГНТУ, филиал в г. Салавате, Российская Федерация
I. Sh. Khusnutdinov, Bachelor Student of BMA 12-21 Group of the Chair «Equipment for Petrochemical and Oil Refining» FSBEI HE USPTU, Branch in the Salavat, the Russian Federation

Бабин А. Ю., бакалавр, группа БМА 12-21, кафедра «Оборудование предприятий нефтехимии и нефтепереработки», ФГБОУ ВО УГНТУ, филиал в г. Салавате, Российская Федерация
A. Yu. Babin, Bachelor Student of BMA 12-21 Group of the Chair «Equipment for Petrochemical and Oil Refining» FSBEI HE USPTU, Branch in the Salavat, the Russian Federation