

УДК 659.305.8 УДК. 681.31

## ПРОЕКТНОЕ ОБУЧЕНИЕ В ПРОГРАММАХ БАКАЛАВРОВ РОБОТОТЕХНИЧЕСКОГО ПРОФИЛЯ

**Б.И. ШАХТАРИН<sup>1</sup>, В.В. ВЕЛЬТИЩЕВ<sup>1</sup>**<sup>1</sup>Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, г. Москва, Россия

В статье авторы делятся опытом преподавания проектных дисциплин с применением компьютерных систем среднего уровня, начиная с младших курсов с последующим переходом к системам верхнего уровня. Приводятся результаты внедрения экспериментальной методики преподавания проектного обучения. Предлагается внедрение экспериментальной методики проектного обучения в курсе «Основы автоматизированного проектирования робототехнических систем». В проекте предполагается использование САД-систем для разработки геометрической модели подводного аппарата, которая в дальнейшем используется для создания проектной документации, а также для отработки системы управления и симулятора. Индивидуальность проекта усложняется условиями самостоятельного выполнения задания без возможности заимствований и использования готовых решений. Тематика проекта определяется комплексом знаний будущей специализаций бакалавра в области робототехники. Показаны поэтапные способы обучения и контроля выполнения проекта с применением информационных технологий по модульному принципу. На практике отмечен повышенный интерес бакалавров к теоретическим и практическим вопросам проектирования, если они используют современные IT-технологии.

**Ключевые слова:** геометрическое проектирование, системы автоматизированного проектирования, начертательная геометрия, геометрическое моделирование, компьютерные технологии, 3D-технологии.

### ВВОДНАЯ ЧАСТЬ

В техническом университете за конструкторское образование, и особенно с использованием компьютерных технологий, ответственны многие кафедры. На эту тему появилось достаточно публикаций и мнений, многие преподаватели разрабатывают методики, привлекая современные компьютерные САД-программы, хотя целостной кардинальной переработки программ по всем направлениям и полного взаимопонимания между заинтересованными кафедрами на данный момент пока не выработано. Нас также волнует проблема геометрической и информационной подготовки бакалавров, требующей введения и совершенствования некоторых разделов дисциплин «Математические основы компьютерной графики», «Информатика», «Программирование машинной графики», «Алгоритмические основы геометрического моделирования» [1].

### СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО ПРОЕКТА

Программа охватывает пять семестров обучения. На первом этапе наши бакалавры выполняют учебный проект подводного комплекса с использованием современных технологий твердотельного проектирования. В курсе «Основы автоматизированного проектирования» осваиваются профессиональные приемы проектной работы в инженерной системе SW. Для твердотельного моделирования разрешается использовать и другие САД-системы.

На втором этапе разрабатывается программный комплекс управления динамикой движения аппарата в виртуальном подводном мире на языке C++.

На третьем этапе с использованием систем инженерного анализа определяются характеристики (исследования гидродинамики, прочности, теплопередачи) для отработки программы управления движения аппарата в виртуальном подводном мире.

В дальнейшем полученные данные проекта используются в выпускной работе на четвертом курсе, где проводится синтез системы управления с использованием результатов исследований и выполняются оформление чертежей и плакатов.

Подобный опыт имеется в программах технических университетов высокотехнологичных стран Европы и в США, где уже давно произошли изменения в части преподавания графических дисциплин и в теоретических курсах математики, информатики [2, 3].

## МЕТОДИКА ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Проектирование современных подводных аппаратов (ПА), представляющих собой сложные технические устройства (рис. 1) с забортным оборудованием и инструментами для работ под водой, требует от инженера-разработчика комплекса знаний в области проектирования оборудования аппарата.

Как правило, основой конструкции ПА является несущая рама, выполненная из металла или полипропилена. На раме устанавливаются винтовые двигатели, приборные корпуса, насосная станция, манипуляторы и другие системы. На рис. 2 приведен пример геометрической модели составных частей подводного аппарата.

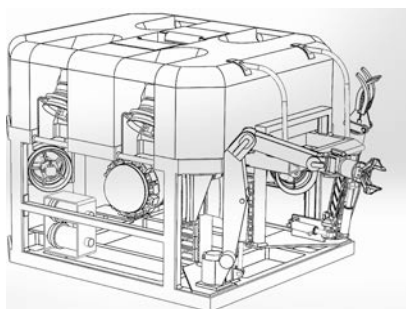


Рис. 1. Модель для разработки

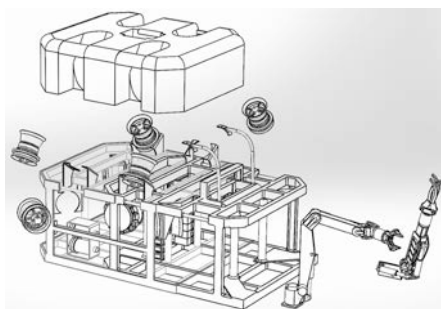


Рис. 2. Состав оборудования

В постановке задачи бакалавр разрабатывает геометрическую 3-D модель подводного робота в модельном пространстве. При создании нового проекта любой разработчик не может заранее выполнить модели отдельных деталей, входящих в состав будущего проекта. Поэтому в первой проектной операции предлагается первоначально выполнить компоновку или скелет будущего изделия. Это может быть 3-D эскиз, деталь или сборка из деталей, содержащих компоновочные эскизы. В первую очередь выбираются системы единиц, системы координат, координатные плоскости, на которых будут создаваться узлы компоновки и данные расположения, определяющие размещение изделия и его составных частей в модельном пространстве.

Многочисленные взаимосвязи между деталями могут быть определены на этапе выполнения сборочных операций или путем установления параметров геометрических форм из эскизов, чертежей или использования концептуальной геометрии. Поэтому реальная профессиональная разработка проекта ведется методом 3-D моделирования после создания предварительного эскиза изделия в виде последовательных этапов разработки сборки по эскизу или схеме такой сборки по компоновочной геометрии.

## ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ НА РАЗРАБОТКУ ГМ. КОМПОНОВКА

Структуризация процесса проектирования начинается с декомпозиции проекта, определения стадий и проектных процедур. Проведение процесса проектирования основывается на базе компоновочной, эскизной и результирующей геометрии.

На стадии эскизного проекта и компоновочных решений по ГОСТ 2.103 последовательно выполняются несколько этапов проектных работ.

*Этап компоновочных решений:*

– определяется компоновочная схема проекта, выбирается число и схема размещения двигательных агрегатов;

– разрабатывается компоновка основных водоизмещающих элементов из состава подводного аппарата;

– выполняется геометрия компоновочных эскизов в контексте сборочной единицы старшего уровня. Она содержит необходимую информацию для межблочных взаимосвязей составных частей изделия.

*Этап эскизного моделирования:*

– планирование структуры узлов, имен, обозначений;

– выполнение упрощенных твердотельных моделей узлов первого уровня. Основой для наложения межблочных зависимостей является компоновочная геометрия, созданная на предыдущем этапе;

– разрабатываются эскизные твердотельные модели узлов с максимальными упрощениями с целью получения массогабаритных решений размещения узлов и понимания конструктивного устройства изделия.

*На этапе РКД происходит:*

– выполнение полных твердотельных моделей узлов всех уровней. Основой для наложения межблочных зависимостей является компоновочная геометрия и твердотельных модели узлов, созданных на этапе эскизного проекта;

– выполнение отдельных чертежей по выбору преподавателя.

Процесс учебного проектирования выстраивается в виде строгой последовательности выполнения этапов.

1. Техническое задание выдается в виде изображений и известных технических характеристик прототипа (рис. 3).

На консультации в ходе обсуждения технического предложения проекта определяется предварительная компоновка.

2. «Скелет» разрабатывается либо с помощью вспомогательной геометрии, или путем создания вспомогательной детали, которая позволит однозначно определить положение и ориентацию составных частей аппарата, например, винтов. Изменяя геометрию «Скелета» в случае необходимости, можно будет произвести перекомпоновку аппарата.

3. На первых шагах работы в пакете в SW уделяется особое внимание действиями проектанта по настройке систем и выбору шаблона. Структура, или «Скелет», аппарата требует анализа состава конструкции, определения координат узлов размещения винтов, звеньев манипуляторов (рис. 4).

4. Разработка компоновочной модели проводится в пакете SW в режиме «Сборка» (разработка «Сверху-Вниз»). Зависимости между составными частями новых узлов устанавливаются с привязкой к элементам «Скелета». Это необходимо в случае значительной переработки концепции проекта и модификации «Скелета». На этом этапе бакалавры впервые начинают практически серьезно осваивать команды создания и редактирования геометрии.



Рис. 3. Внешний вид аппарата



Рис. 4. Скелетная разработка

5. Компоновка составных частей. На данном этапе разрабатываются основные составные части в упрощенном представлении (рис. 5). Для этого определяются габаритные размеры проектируемого узла на основании технических характеристик описания. Студент должен научиться

ся создавать свой технический проект, думать и моделировать в условиях возможных вариантов решений проекта. Здесь обязательно необходимо освоить режим «Конфигурации» (SW) или «Исполнения» (Компас). Эта опция позволяет выполнять задачу многовариантного проектирования, когда приходится выбирать варианты проведения операций или назначения материалов.

6. Компоновка выполняется как можно более простыми геометрическими конструкциями. В таком представлении проще видеть идею изделия. При этом система сможет быстрее пересчитывать перестроения, вызванные внесенными изменениями: ведь пересчет коснется не только файла компоновки, но и всех остальных файлов, ассоциированных с ним. Бакалаврам обязательно надо пояснить, что подробную проработку геометрии нужно делать на этапе эскизного или технического проекта. Они должны это попробовать самостоятельно, чтобы убедиться в простоте окончательной отделки деталей.

7. Цель выполнения эскизной проработки заключается в определении массоинерционных свойств аппарата.

После завершения эскизной компоновки бакалавры переходят к эскизному проекту.

### ПРАБОТКА ТЕХНИЧЕСКОГО ПРОЕКТА

Как только суть конструкции в проекте стала ясна и определены геометрические и физические параметры компоновочного этапа, переходят к геометрическому моделированию, где выполняется проработка деталей и узлов, устанавливается крепеж, покупные изделия и подробно прорабатываются все детали аппарата (рис. 6, 7). Последовательность построения деталей достаточно свободная и определяется последовательностью проработки каждого из узлов.

1. Детальная проработка агрегатов и узлов выполняется с учетом ранее установленных ассоциативных связей и зависимостей. В этом случае будет сохраняться адаптивность геометрического моделирования (ГМ) к изменению компоновки и корректное обновление дочерней геометрии в файлах агрегатов. Качество и скорость разработки агрегатов напрямую зависят от правильности выполнения этапа технического задания.

2. Этап может выполняться как в режиме «Сборка», так и в режиме «Деталь».

Работа в режиме «Деталь» более проста – геометрия формируется по размерам без увязки с ранее созданными существующими и деталями, возможность возникновения ошибок перестроения незначительна.

3. Работа в режиме «Сборка» требует четкого представления имеющихся взаимосвязей между деталями сборки в дереве проектирования. Наложение связей и ограничений в этом случае выполняется с использованием уже созданной вспомогательной скелетной геометрии сборок и деталей. Удаление зависимостей, которые связаны со скелетной геометрией, приводит к возникновению ошибок.

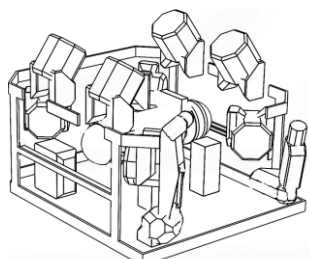


Рис. 5. Компоновка аппаратуры

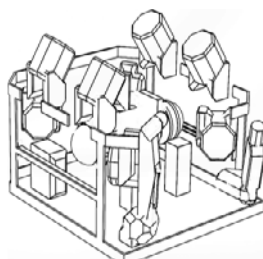


Рис. 6. Детализация манипулятора

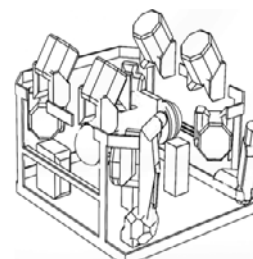


Рис. 7. Детализация двигателя

### РАЗРАБОТКА ИМИТАЦИОННОГО КОМПЛЕКСА

На следующем этапе проектного обучения в данном семестре бакалавры разрабатывают учебную имитационную модель движения (тренажера) ГМ аппарата в водной среде. Данный

раздел проекта непосредственно связан со специальностью «Мехатроника и робототехника». Разработка этой темы позволяет бакалаврам лучше понять и шире представить суть специализации, которая связана с управлением движением подводным аппаратом, и тем самым повысить эффективность изучения курса «Теория автоматического управления».

Цель выполнения задания – создание программного имитатора системы управления движением виртуальным подводным аппаратом (ПА). Программа, создаваемая в процессе выполнения задания, должна обеспечивать возможность управления моделью в одном из режимов:

- определение плавучести ПА;
- исследование работы движительно-рулевого комплекса;
- оценка работы контуров стабилизации ПА в водной среде;
- управление движением в режимах стабилизации линейных и угловых перемещений ПА.

В качестве задания разрабатывается программная среда для проведения модельных испытаний модели спроектированного аппарата. Разрабатываемый комплекс поможет отладить систему управления, провести оптимизацию параметров и отработать заданные режимы управления движением.

На этапе решаются следующие задачи:

1) изучаются аналитические уравнения движения аппарата в воде. Для формирования математической модели движения проводится исследование сил, действующих на подводный аппарат. Определяются силы, действующие на ПА во время движения, силы гидростатического и гидродинамического типа;

2) изучается практический пример готовой системы управления подводного комплекса в пакете математического моделирования MBTU;

3) изучается пример программирования имитатора движения аппарата, для которого обычно разрабатывается тренажерный комплекс. В процессе выполнения рассматриваются вопросы программирования компьютерной графики на C++ с использованием графических библиотек и приложений для визуализации [5].

В учебной программе уделяется часть времени на изучение элементов объектно-ориентированного программирования, применяемого при разработке виртуальных миров. В процессе отладки программы бакалавры знакомятся с теорией поведения подводных роботов в водной среде, анализируют работу движительного комплекса, изучают влияние внешних сил, действующих на аппарат.

Отличительной особенностью создаваемого комплекса является возможность быстрой апробации управляемости созданного ПА. На этапе должны быть реализованы положения локальной системы координат, положения движителей, уравнения движения аппарата и протоколы передачи данных для управления. При исследовании функционирования системы управления оценивается качество управления на основе выбранных законов управления по заданию преподавателя.

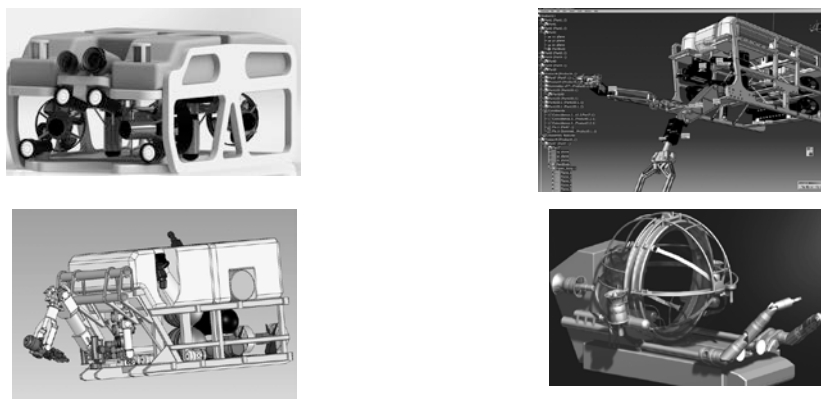
Проект на данном этапе в этом семестре завершается. Но его результаты будут использованы в последующих проектах.

## ИДЕЯ ОБУЧЕНИЯ

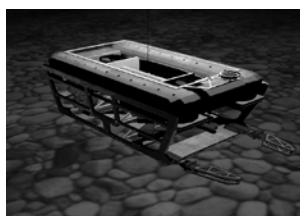
Дисциплина «Основы автоматизированного проектирования» по утвержденной программе имеет два модуля, изучаемых последовательно в течение одного семестра. Организацию и проведение занятий по дисциплине осуществляет кафедра «Подводные роботы и аппараты». По программе на самостоятельную работу отведено 108 часов, однако, конечно же, реальная нагрузка намного больше. Но существующую перегрузку бакалавры выдерживают, проявляя интерес и понимая необходимость основательного изучения данной дисциплины. Здесь важно обеспечить стимулирование интересов бакалавров, чтобы целью студентов стало получение не

просто диплома, а прочных и стабильных знаний технологий проектирования. Это один из наиболее эффективных способов заинтересовать учащихся.

По завершении семестра и выполнении двух контрольных мероприятий бакалавры представляют результаты работы в электронном виде: 3-D модель проекта (рис. 8) и программный комплекс симулятора (рис. 9).



**Рис. 8.** Примеры разработки бакалавров в 4 семестре:  
*а* – пример реконструкции в пакете «Компас»; *б* – пример реконструкции в пакете САТИА;  
*в* – пример реконструкции в пакете SW; *з* – пример реконструкции в пакете CREO



**Рис. 9.** Пример работы программы симуляции (5 семестр)



**Рис. 10.** Студенческий аппарат «Акватор-3» центра «Гидронавтика»

Данная методика проектного обучения используется в учебном процессе уже 4 года. При конкурентной работе над проектом среди бакалавров отмечается большое желание выполнить проект с наилучшим качеством.

Успех курса подтверждается реальной разработкой подводного аппарата (рис. 9), который выполнен в пакете SW и частично напечатан на 3-D принтере. Команда разработчиков с проектом участвовала в международных соревнованиях по робототехнике (MATECROV в США, в Сиэтле), где завоевала второе призовое место [4].

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Голованов Н.Н. Геометрическое моделирование. М.: Изд-во Физико-математической литературы, 2002. 472 с.
2. Горнов А.О., Шацлло Л.А. Основные положения концепции естественной структуры инженерной подготовки (Natural occurring Learning – NL) // Образование и саморазвитие. 2013. № 4 (38). С. 30–36.
3. Никулин Е. Компьютерная геометрия и алгоритмы машинной графики ВHV. С.-Петербург, 2013. 556 с.
4. Северов С.П., Северова Л.В., Шевчун В.Н. Методы профессионального образования в практике студенческой научно-технической инноватики // Наука и образование: электронное научно-техническое издание МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2015. № 7. Эл № ФС 77 - 48211. ISSN 1994-0408

**5. Шахтарин Б.И., Вельтищев В.В.** Имитационные комплексы для подготовки операторов подводных аппаратов. Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. 2014. № 210 (12). С. 81–83.

### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

**Шахтарин Борис Ильич**, доктор технических наук, профессор МГТУ им. Н.Э. Баумана, электронный адрес: shakhtarin@mail.ru.

**Вельтищев Виталий Викторович**, кандидат технических наук, доцент НГ МГТУ им. Н.Э. Баумана, электронный адрес: wwwwelt@mail.ru.

### PROJECT – BASED LEARNING OF ROBOTIC SPECIALIZATION IN BACHELOR DEGREE PROGRAM

**Boris I. Shakhtarin**

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia, shakhtarin@mail.ru

**Vitaliy V. Weltishev**

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia, wwwwelt@mail.ru

### ABSTRACT

In the article the author imparts the experience of teaching project disciplines using medium-level computer systems beginning with lower level with the further transition to upper level systems. The results of the introduction of an experimental technique of teaching project training are given. The article considers the introduction of an experimental technique of project training in the course "The fundamentals of robotic systems automation". The project suggests applying CAD systems to develop a geometrical model of a submersible craft, which will be used in future to design project documentation as well as a control system and a simulator. The project distinction is affected with conditions of individual assignment fulfilment without using ready solutions. The project subject-matter is defined with knowledge system of future bachelor specialization in the area of robotics. The article demonstrates stage methods of training and supervision over project fulfilment with IT application according to modular approach. In practice bachelors take intense interest in theoretical and practical project-based learning if they use modern IT.

**Key words:** geometrical projecting, automated project systems, descriptive geometry, geometrical modeling, IT; 3D-technologies.

### REFERENCES

- 1. Golovanov N.N.** Geometrical modeling. M.: Prod. Physical and mathematical literature. 2002, 472 p. (in Russian)
- 2. Hornov A.O., Shatsillo L.A.** Basic provisions of the concept of natural structure of engineering training (Natural occurring Learning – NL). Education and self-development, 2013, No. 4 (38), pp. 30–36. (in Russian)
- 3. Nikulin E.** Computer geometry and algorithms of machine graphics of BHV. St.-Petersburg, 2013, 556 p. (in Russian)
- 4. Severov S.P., Severova L.V., Shevchun V.N.** Methods of professional education in practice of student's scientific and technical innovatics. Electronic scientific and technical Science and education edition electronic edition 07, July, 2015 AI No. FS 77 - 48211. ISSN 1994-0408 (in Russian)
- 5. Shakhtarin B.I., Veltishchev V.V.** Imitating complexes for training of operators of submersibles. Scientific Bulletin of the Moscow State Technical University of Civil Aviation, 2014, No. 210 (12), pp. 81–83. (in Russian)