

Виртуальная и дополненная реальность-2016: состояние и перспективы: материалы Всерос. науч.-метод. конф., М., 28 – 29 апреля 2016 г./ Моск. гос. образоват. комплекс; под ред. Д.И. Попова. М., 2016. С. 90–95.

3. Гриншкун А.В. Терминологические особенности изучения технологии дополненной реальности при обучении информатике // Вестник МГПУ. Информатика и информатизация образования. 2016. №4. С. 93–100.

4. Кравченко Ю.А. Особенности использования технологии дополненной реальности для поддержки образовательных процессов / Ю.А. Кравченко, А.А. Лежебоков, С.В. Пашенко// Открытое образование. 2014. №3. С. 49–54.

5. Лаптев В.В. Изобразительная статистика. Введение в инфографику. СПб.: Эйдос, 2012. 180 с.

6. Новая философская энциклопедия: в 4 т. / под ред. В.С. Степина. М.: Мысль, 2001. Т.3. 692 с.

## **ОРГАНИЗАЦИЯ ОБУЧЕНИЯ ТОПОЛОГИЧЕСКОМУ ПРОЕКТИРОВАНИЮ АВИАЦИОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

*А.В. Болдырев, М.В. Павельчук*

*Самарский национальный исследовательский университет  
имени академика С. П. Королёва*

Современная тенденция подготовки кадров авиационной отрасли заключается в возрастающей роли CALS-технологий [1, 2]. В работе [3] приводится обширная библиография по вопросам обучения автоматизированному проектированию силовых конструкций. В 1980-2000-е гг. на базе КуАИ–СГАУ получили развитие такие средства обучения, как «инженерные тренажёры», являющиеся подсистемами САПР, направленными на развитие инженерной интуиции [4]. В работе [5] предлагается современная методология обучения автоматизированному проектированию изделий на основе учебно-научного виртуального предприятия (УНВП) с использованием PLM-системы. УНВП представляет собой специализированное PLM-решение, которое создается на базе учебного заведения, объединяет информационное, методическое и организационное обеспечение, а также программно-технические и интеллектуальные ресурсы, имитирует работу в едином информационном пространстве (ЕИП) предприятия.

Весовая эффективность конструкции на ранних стадиях проектирования определяется выбором её силовой схемы. Силовая схема конструкции (ССК) характеризуется типом и количеством силовых элементов, их расположением в пространстве и способами соединения между собой. Процесс отыскания рациональных параметров ССК называется топологическим проектированием.

Динамичность развития авиационной отрасли обуславливает необходимость регулярного обновления рабочих программ подготовки специалистов, в том числе разработки новых и совершенствования применяемых методик обучения. В настоящей статье рассматриваются вопросы организации обучения проектированию ССК.

Обучение топологическому проектированию конструкций. Обучение осуществляется в среде УНВП с применением итерационного метода принятия решений по ССК на основе многоуровневой математической модели [6]. Для повышения эффективности процесса обучения используется формализованное представление предметной области, основанное на применении процессного и онтологического подходов. Методика обучения предполагает декомпозицию процесса проектирования ССК, реализованную в работе в нотациях методологии ARIS [7]. Для обучения терминологии проектирования ССК применяется информационный тезаурус, разработанный на основе онтологического редактора Protégé, который представляет словарь терминов для формирования на этапе концептуального моделирования единой проектно-технологической терминологии в САПР.

Для реализации методики обучения проектированию ССК нами разработан цикл лабораторных работ (ЛР). В процессе топологического проектирования обучающиеся последовательно разрабатывают конечно-элементные модели (КЭМ) различного уровня.

На ЛР № 1 преподаватель знакомит студентов с интерфейсом САЕ системы и демонстрирует пример решения учебного задания на топологическое проектирование конструкции. Представленная последовательность шагов процесса проектирования ССК в дальнейшем используется обучающимися для решения задач проектирования конструкций, содержащихся в библиотеке заданий УНВП.

ЛР № 2 «*Определение теоретически оптимальной конструкции*». Каждая подгруппа студентов, в соответствии с полученным заданием, разрабатывает в САД-системе геометрическую модель допустимой про-

ектной области и создаёт в САЕ-системе континуальную модель [8] (КЭМ-1). Континуальная модель получается в результате заполнения допустимой области расположения проектируемой конструкции непрерывной упругой средой переменной плотности, называемой далее «заполнителем». Эта модель потенциально содержит все возможные ССК. В процессе оптимизации распределения плотности в континуальной модели отыскивается теоретически оптимальная конструкция (ТОК). Ссылки на разработанные модели передаются в УНВП в среде PLM.

До начала обучения проектированию ССК студенты должны владеть навыками создания точек, линий, плоскостей, полученными при изучении предшествующих дисциплин, например, «компьютерной графики». На занятии изучаются приёмы создания аэродинамических поверхностей. Осуществляется знакомство с библиотекой конечных элементов, характеристиками материалов, типами прикладываемых нагрузок и креплений. Студенты учатся создавать такие объекты КЭМ, как свойства материала и конечных элементов, сеть и группы элементов. Приобретаются навыки выполнения инженерного анализа конструкций и визуализации результатов в САЕ-системе.

*ЛР № 3 «Разработка силовой схемы конструкции».* Студенты учатся выявлять генеральные пути передачи усилий в конструкции и применять свои личностные качества при формировании рационального варианта ССК. На основе принятых технических решений разрабатывается модель, реализующая ССК (КЭМ-2). Обучение проводится на основе сценария деловой игры, для этого обучающиеся объединяются в малые подгруппы по 2–3 студента. В УНВП им предлагаются роли, например «руководитель отдела САПР», «проектировщик», «специалист ЕИП». Каждая подгруппа выполняет все процессы проектирования ССК от момента получения задания до контроля его выполнения в PLM.

На занятии студенты на основе анализа усилий в ТОК с использованием интуитивных соображений предлагают рациональную структуру конструкции. Для принятия решений по ССК проводится «мозговой штурм», который позволяет каждой подгруппе студентов рассмотреть различные варианты структуры проектируемой конструкции. Мозговой штурм проводится в 3 этапа, роль ведущего выполняет преподаватель.

На первом этапе ведущий напоминает участникам смысл терминов и ставит задачу для каждой подгруппы. Студенты готовят информацию о ТОК в форме презентации. На одном-двух слайдах для решаемых

задач представляются картины распределения материала и усилий в континуальной модели. На втором этапе осуществляется генерация идей по структуре конструкций. В обсуждении вариантов ССК участвует вся группа студентов. Информация о ТОК демонстрируется в аудитории на экране проектора. Участники мозгового штурма высказывают возможные структурные решения для объектов проектирования. На этом этапе не допускается оценка и критика предлагаемых идей. Любые, даже необычные и неожиданные, идеи приветствуются. Ведущий фиксирует на доске все предложенные варианты. На заключительном этапе выполняется отбор идей, их систематизация и оценка. Допускается критика предложенных структурных решений с целью отсеять абсурдные варианты ССК. В ходе обсуждения можно комбинировать и дополнять идеи новыми элементами. Этот процесс позволяет выделить рациональные идеи и, возможно, прийти к консенсусу. Право принятия решения остаётся за подгруппой, получившей задание на проектирование. Мозговой штурм проводится в дружественной обстановке, что позволяет его участникам положительно воспринимать критику, импровизировать и реализовать свой творческий потенциал. Учебный процесс представляет собой увлекательную коллективную игровую деятельность.

Весовая оценка конструкции осуществляется с использованием специфического критерия «силовой фактор»  $G$ , который характеризует одновременно величину и протяжённость действия внутренних усилий в конструкции [8]. Для трёхмерной конструкции эта характеристика определяется по формуле:

$$G = \int_V \sigma^{экв} dV, \quad (1)$$

где  $\sigma^{экв}$  – эквивалентное напряжение по принятой теории прочности,  $V$  – объём материала конструкции.

На ЛР № 4 «Модификация силовой схемы конструкции» обучающиеся генерируют комбинированную модель (КЭМ-3) – в исследуемой геометрической области к конструкции, разработанной на ЛР №3, присоединяется континуальный наполнитель. Интерпретация силовой работы наполнителя осуществляется с использованием эвристической стратегии [8]. В результате данной ЛР определяется улучшенная ССК и вычисляется силовой фактор для принятого технического решения.

На заключительном занятии проводится публичная защита проектов студентов с выставлением оценки. В PLM-системе фиксируется

сдача заданий по срокам. Преподаватель, который выступает в роли руководителя, после успешной защиты прекращает выполнение маршрута проекта в УНВП.

Для учебно-методического сопровождения процесса обучения топологическому проектированию авиационных конструкций разработана база данных [9], в которой задания предназначены для развития навыков принятия структурных решений в процессе топологического проектирования. Исходными данными являются размеры допускаемой геометрической области, внутри которой может располагаться проектируемая конструкция, нагрузка и тип закреплений. Ставится задача отыскания рациональной структуры конструкции, передающей заданные нагрузки на закрепления. База данных содержит 150 учебных заданий, сгруппированных в 6 групп с возрастающей сложностью задач на проектирование. В заданиях используются один или несколько случаев нагружения конструкции. Имеется возможность применения различных конструкционных материалов.

Умения и навыки, приобретённые при разработке проектного решения по ССК, оцениваются на основе показателя «весовое качество», вычисляемого через критерий силовой фактор по формуле [4]:

$$P_i = \frac{G_{opt}}{G_i}, \quad (2)$$

где  $G_{opt}$  – силовой фактор ТОК, вычисленный по формуле (1);  $G_i$  – силовой фактор конструкции, разработанной студентом на этапе проекта.

Оценка педагогического эффекта основана на вычислении индивидуальных показателей обучения и статистической обработке групповых результатов в среде УНВП. В ходе проведённого педагогического эксперимента для студентов 3 и 5 курсов обучения специальности «Самолёто- и вертолётостроение» сравнивались технические решения, полученные студентами на этапе отыскания ССК (ЛР №3) и на заключительном этапе обучения после модификации ССК. При сравнении средних значений на указанных этапах после групповой обработки результатов выявлен средний рост весового качества проектируемых конструкций для студентов третьего курса на 7,3 %, для студентов пятого курса на 9,5 % при вероятности допустимой ошибки согласно критерию Стьюдента не более 5%.

Таким образом, предлагаемую методику обучения на основе процессов учебного проектирования с наличием этапа модификации ССК

целесообразно использовать, начиная уже со средних курсов обучения авиационных специальностей вузов.

### **Библиографический список**

1. Братухин А.Г. О подготовке специалистов авиакосмической индустрии с учётом приоритетов CALS-технологий в высшей школе России / А.Г. Братухин [и др.]. // Наука и технологии в промышленности. 2011. № 3. С. 57–63.

2. Шахматов Е.В. , Комаров В. А. Модернизация подготовки кадров для авиационной отрасли // Известия Самарского научного центра РАН. 2014. Т. 16. № 1(5). С. 1655–1659.

3. Черепашков, А.А. Методы и средства обучения автоматизированному проектированию в машиностроении: дисс. д-ра. техн. наук: 05.13.12: Черепашков Андрей Александрович. Самара: СГАУ, 2014. 434 с.

4. Комаров В.А. , Черепашков А. А. Компьютерные тренажёры для конструкторов // Общероссийский научно-технический журнал «Полёт». 1999. № 8. С. 31–36.

5. Черепашков, А. А. Учебное виртуальное предприятие на платформе комплекса решений АСКОН (разработка и внедрение): монография / А. А. Черепашков, А. В. Букатин. СПб.: ЗАО АСКОН, 2013. 144 с.

6. Болдырев А.В., Павельчук М.В. Методика обучения топологическому проектированию конструкций на основе моделей тела переменной плотности // Онтология проектирования. 2016. Т. 6. № 4(22). С. 501–513.

7. Болдырев А.В., Павельчук М.В. Формализация проектирования силовых схем авиационных конструкций на основе процессного подхода // Автоматизация. Современные технологии. 2015. № 5. С. 37–39.

8. Комаров В.А. Проектирование силовых схем авиационных конструкций // Актуальные проблемы авиационной науки и техники. М.: Машиностроение. 1984. С. 114–129.

9. Свидетельство о государственной регистрации базы данных «Учебные задания на проектирование силовых схем авиационных конструкций» / А.В. Болдырев, В.А. Комаров, М.В. Павельчук. Российская Федерация. М.: РОСПАТЕНТ. № 2016620151; зарег. 02.02.2016; опубл. 20.02.2016. 1 с.