

УДК 629.7.023+004.85

МЕТОДИКА ОБУЧЕНИЯ ТОПОЛОГИЧЕСКОМУ ПРОЕКТИРОВАНИЮ КОНСТРУКЦИЙ НА ОСНОВЕ МОДЕЛЕЙ ТЕЛА ПЕРЕМЕННОЙ ПЛОТНОСТИ

А.В. Болдырев¹, М.В. Павельчук²

Самарский национальный исследовательский университет им. академика С.П. Королёва, Самара, Россия

¹bolav@ssau.ru, ²pmv90aircraft@gmail.com

Аннотация

В статье рассмотрены принципы обучения топологическому проектированию конструкций. Приведена онтология предметной области «Проектирование силовой схемы конструкций». Предложена методика обучения автоматизированному проектированию силовых схем конструкций с применением модели деформируемого твёрдого тела переменной плотности. Учебный процесс основывается на методах креативной педагогики и осуществляется в среде учебно-научного виртуального предприятия. Представлена классификация учебных заданий на проектирование силовых схем конструкций. Задания характеризуются множественностью технических решений и неопределённостью в процессе принятия решений по рациональной силовой схеме конструкции. Приведён пример учебной задачи с пространственной проектной областью, иллюстрирующий проектирование силовой схемы фюзеляжа самолёта в зоне выреза на основе модели деформируемого твёрдого тела переменной плотности. Рассмотрены вопросы диагностики результатов обучения топологическому проектированию конструкций. Представлены результаты педагогического эксперимента, демонстрирующие работоспособность предлагаемой методики обучения.

Ключевые слова: проектирование, топологическая оптимизация, континуальная модель, обучение, тезаурус, принятие решений, педагогический эксперимент.

Цитирование: Болдырев, А.В. Методика обучения топологическому проектированию конструкций на основе моделей тела переменной плотности / А.В. Болдырев, М.В. Павельчук // Онтология проектирования. – 2016. – Т. 6, №4(22). – С. 501-513. – DOI: 10.18287/2223-9537-2016-6-4-501-513.

Введение

В подготовке кадров для отраслей машиностроения важной задачей является разработка теоретических основ обучения автоматизированному проектированию. Один из ключевых вопросов в этом направлении – подготовка специалистов, обладающих знаниями и умениями, позволяющими проектировать силовые схемы конкурентоспособных изделий. Силовая схема конструкции (ССК) определяется следующими параметрами: количеством и типом силовых элементов, их расположением в пространстве и способами соединения между собой [1]. Процесс поиска рациональных параметров ССК называется топологической оптимизацией конструкции [2, 3]. Решение этой задачи предопределяет весовое совершенство объектов проектирования и характеризуется множественностью технических решений, реализующих ССК.

В работах [1, 4] изложены теоретические основы автоматизированного проектирования рациональной структуры конструкции с использованием деформируемого твёрдого тела переменной плотности и жёсткости, называемого далее континуальной моделью. Конечно-элементная модель (КЭМ) тела переменной плотности образуется элементами гипотетической непрерывной упругой среды, которая заполняет допустимое геометрическое пространство проектируемой конструкции. Оптимизация распределения материала в континуальной

модели позволяет с использованием стратегии [1] из непрерывной среды сформировать рациональную ССК. В [5, 6, 7] предложен метод проектирования на основе поэтапного замещения в континуальной модели элементов гипотетического материала переменной плотности силовыми элементами, реализующими принятые технические решения по ССК. В настоящей статье предлагается методика обучения топологическому проектированию конструкций с использованием континуальной модели. Методика предназначена для подготовки студентов, обучающихся на авиационных специальностях ВУЗов, и может применяться для переподготовки инженеров-проектировщиков машиностроительных предприятий.

1 Организация обучения топологическому проектированию

Целью обучения топологическому проектированию конструкций является формирование у студентов умений и навыков, представленных на рисунке 1 (их следует читать в виде: обучающийся «способен ...»).

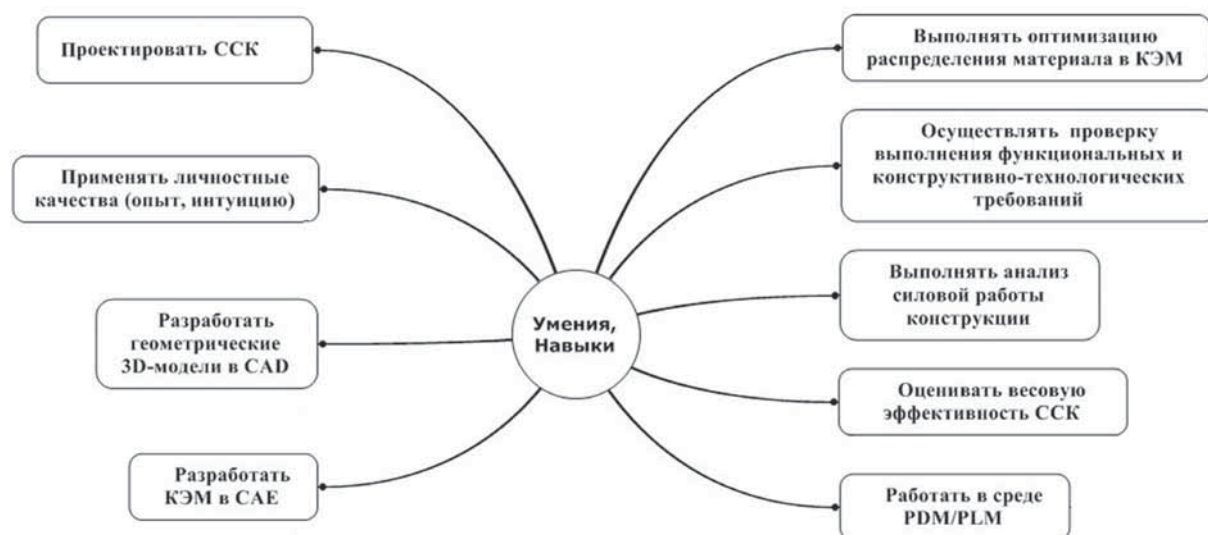


Рисунок 1 – Умения и навыки, формируемые в результате подготовки специалиста по проектированию ССК

Методика обучения формируется с использованием следующих принципов.

Принцип преемственности. Развитие методологии обучения должно учитывать методические правила и приёмы, сложившиеся в предметной области (Про). В обучении топологическому проектированию конструкций применимы принципы, сформулированные в [8, 9] и предназначенные для подготовки инженеров-конструкторов в среде автоматизированных систем обучения, используемых в качестве «инженерных тренажёров». К таким принципам, направленным на развитие интуиции, творческих способностей и приобретение студентами профессиональных навыков, относятся:

- формулирование учебных проектных задач в оптимизационной постановке;
- эвристический поиск решения проектных задач;
- создание игровых ситуаций;
- повторяемость проблемных ситуаций в учебном процессе;
- оперативное предъявление обучающей информации с применением средств компьютерной графики в визуальной форме;
- накопление информации о ходе и результатах решения учебных заданий.

Принцип работы в команде. С педагогической точки зрения решение задач в коллективе, когда поддерживается соревновательная ситуация, эффективнее индивидуального обучения.

Принцип непрерывного развития технических решений. Коллективный поиск решений позволяет подвергать критике принимаемые идеи, повторно их осмысливать и выявлять ошибочные технические решения. Процесс упорядоченного улучшения характеристик принимаемых решений способствует приобретению устойчивых профессиональных навыков и направлен на развитие творческих способностей обучающихся.

Принцип ситуативности обучения. Обучение автоматизированному проектированию строится на основе моделирования в учебном процессе проектных ситуаций, которые возникают в практической работе проектных отделов. Важным аспектом этого принципа является управление проектным документооборотом в среде учебно-научного виртуального предприятия [10]. Виртуальное предприятие разрабатывается на базе высшего учебного заведения и имитирует работу в едином информационном пространстве промышленного предприятия. Хранение математических моделей и документов, контроль целостности информации и прав доступа осуществляется в PLM-системе. Управление учебными проектами от выдачи заданий на проектирование до контроля их выполнения реализуется по технологии *Workflow* [11].

Процесс обучения реализуется поэтапно, когда в начале занятий обучающиеся знакомятся с необходимыми действиями, а в основной части занятий выполняют их практически на основе изученных процессов. Для повышения эффективности этого процесса используется онтология ПрО «Проектирование ССК» в форме тезауруса.

2 Тезаурус предметной области

Целью использования тезауруса в учебном процессе является получение точных и непротиворечивых определений каждого термина. Тезаурус рассматриваемой ПрО систематизирует понятия, используемые при топологическом проектировании конструкций. Он построен на основе отношений “род-вид” и ассоциативных связей [12]. Тезаурус входит в онтологию ПрО «проектирование самолёта» [13]. Масштаб онтологии ограничен рассмотрением ранних стадий проектирования силовых конструкций. Фрагмент онтологии «Проектирование ССК» представлен на рисунке 2. В качестве онтологического редактора выбрана система Protégé.

Декомпозиция классов выполнена на основе нисходящей разработки иерархии понятий. Видовые понятия корневого класса характеризуют постановку задачи оптимизации (целевая функция, ограничения, проектные переменные), процессы проектирования и математические модели.

Множественность вариантов ССК определяется классом «параметры ССК». Так, проектируемая конструкция может состоять из различного количества силовых элементов. Тип каждого силового элемента может принимать следующие значения:

- стержень, работающий только на растяжение или сжатие,
- стержень, работающий на растяжение – сжатие и изгиб,
- пластина, воспринимающая только сдвиговые нагрузки в своей плоскости,
- мембранная пластина,
- изгибно-мембранная пластина,
- другие типы.

Кроме того, выбранные силовые элементы могут по-разному располагаться в пространстве и соединяться между собой. Из всего многообразия силовых схем, определяемого воз-

возможными комбинациями параметров ССК, конструктору необходимо выбрать вариант, обеспечивающий оптимальное значение функции цели при выполнении конструктивно-технологических и функциональных ограничений. В качестве критерия оптимальности для транспортных средств часто используется минимум массы конструкции, а конструктивно-технологические ограничения часто сводятся к геометрическим ограничениям.

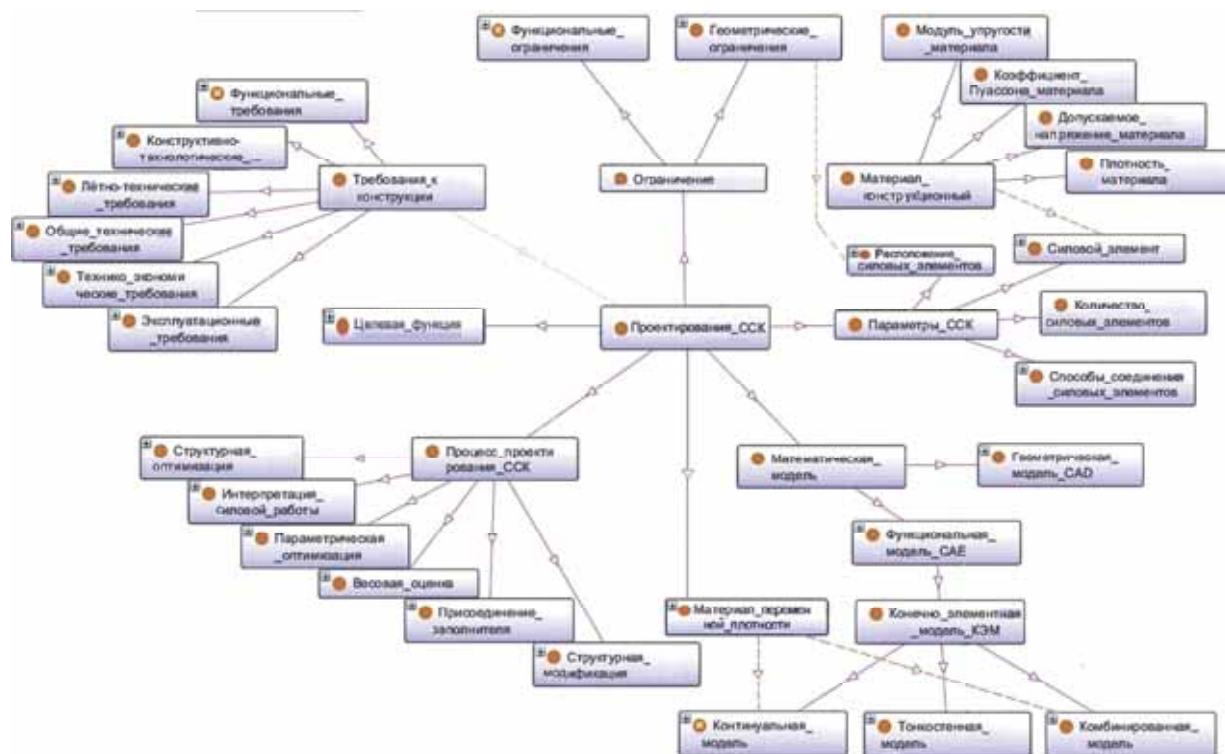


Рисунок 2 – Фрагмент онтологии «Проектирование ССК»

Моделируемые процессы проектирования ССК представлены на рисунке 3. В ходе топологического проектирования конструкции последовательно разрабатываются КЭМ различного уровня. В *блоке 1* формируется континуальная модель, которая заполняет всё допустимое геометрическое пространство проектируемой конструкции и представляет собой КЭМ первого уровня (КЭМ-1) [14]. Эта модель потенциально включает в себя все мыслимые ССК, которые могут быть образованы сгустками плотности гипотетического материала. На этапе структурной оптимизации за проектные переменные принимаются плотности материала в элементах КЭМ-1 и минимизируется масса конструкции. Для выполнения условий прочности, жёсткости и устойчивости упругой системы применяются алгоритмы, разработанные в работе [15]. В результате в *блоке 2* определяется теоретически оптимальная конструкция (ТОК). Далее выполняется анализ силовой работы ТОК с использованием эвристической стратегии [1], и в *блоке 3* с учётом конструктивно-технологических требований, предъявляемых к объекту проектирования, принимаются технические решения по структуре конструкции. В *блоке 4* разрабатывается КЭМ второго уровня (КЭМ-2) [14], которая образуется выбранной совокупностью силовых элементов, выполненных из конструкционного материала.

Весовая оценка конструкции осуществляется с использованием критерия «силовой фактор» G , который характеризует одновременно величину и протяжённость действия внутренних усилий в конструкции [16]:

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

где $\sigma^{\text{экв}}$ – эквивалентное напряжение, V – объём материала конструкции.



Рисунок 3 – Процессы проектирования ССК

На процесс формирования ССК в *блоке 3* существенное влияние оказывает опыт конструктора [14], что создаёт риск принятия ошибочных технических решений. Поэтому для усовершенствования ССК к КЭМ-2 присоединяется гипотетическая непрерывная упругая среда переменной плотности [5, 6], далее именуемая заполнителем. В *блоке 6* формируется комбинированная модель (КЭМ-3), составленная из конструктивных элементов и элементов заполнителя. Оптимизация плотности в заполнителе КЭМ-3 и интерпретация силовой работы упругой системы позволяют выявить пути модифицирования ССК за счёт изменения расположения имеющихся силовых элементов или добавления дополнительных элементов. Процесс проектирования продолжается, пока очередные изменения параметров ССК приводят к снижению массы конструкции (*блок 5*). Примеры топологического проектирования конструкций на основе разработки моделей различного уровня с использованием процессов структурной оптимизации и структурной модификации содержатся в работах [7, 14].

3 Классификация учебных задач

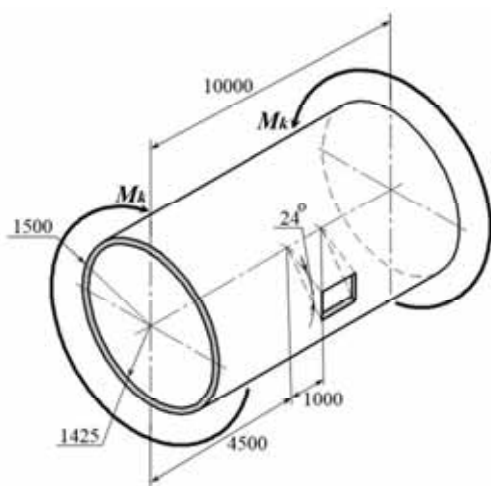
Для реализации методики обучения разработан цикл лабораторных работ на основе специально подобранных заданий на проектирование конструкций. По известным геометрическим размерам проектной области, внутри которой может размещаться конструкция, а также по заданным нагрузкам и закреплениям требуется найти рациональную ССК. Учебные задания на проектирование ССК помещены в базу данных [17]. На рисунке 4 показана классификация учебных заданий, выполненная на основе последовательности дихотомических делений. Основаниями для деления являются взаимное расположение нагрузок и закреплений конструкции, а также форма проектной области. В классе «плоские задачи» нагрузки и за-

крепления лежат в одной плоскости. В классе «пространственные задачи» нагрузки и закреплёния располагаются произвольно. В этом классе в отдельный вид выделены задачи с плоской допустимой геометрической областью объекта проектирования, типичным примером которых является задача на проектирование силового шпангоута фюзеляжа [18]. В учебных заданиях может использоваться несколько нагрузок, действующих одновременно. Листьями дерева классификации являются группы заданий на проектирование ССК с возрастающим уровнем сложности.



Рисунок 4 – Классификация учебных заданий

Для демонстрации процессов топологической оптимизации пространственных конструкций с использованием деформируемого твёрдого тела переменной плотности рассмотрим задачу проектирования силовой схемы фюзеляжа самолёта в зоне выреза. Допустимое геометрическое пространство проектируемой конструкции в форме цилиндрической оболочки с прямоугольным вырезом представлено на рисунке 5.



Конструкция нагружена крутящим моментом $M_k=6\text{МН}\cdot\text{м}$. Характеристики конструкционного материала: модуль Юнга 70000 МПа, плотность 2700 кг/м³, допускаемое напряжение 400 МПа, коэффициент Пуассона 0,3.

Рисунок 5 – Пример учебного задания на проектирование

Для проектирования ССК разработана континуальная модель из гипотетического материала переменной плотности, разделённая по толщине оболочки на три слоя объёмных конечных элементов. Внешний слой моделирует обшивку фюзеляжа, подкреплённую накладками и стрингерным набором. Средний и внутренний слои – шпангоуты и дополнительные силовые элементы для компенсации выреза. На рисунках 6-8 представлено распределение материала и усилий в слоях ТОК, полученной по «равнопрочному» алгоритму [1]. При формировании ССК ориентацию элементов каркаса рекомендуется выбирать в соответствии с направлениями потоков главных усилий (ПГУ) [1], определяемых умножением главных напряжений на толщину соответствующего конечного элемента.

Для проектирования ССК разработана континуальная модель из гипотетического материала переменной плотности, разделённая по толщине оболочки на три слоя объёмных конечных элементов. Внешний слой моделирует обшивку фюзеляжа, подкреплённую накладками и стрингерным набором. Средний и внутренний слои – шпангоуты и дополнительные силовые элементы для компенсации выреза. На рисунках 6-8 представлено распределение материала и усилий в слоях ТОК, полученной по «равнопрочному» алгоритму [1]. При формировании ССК ориентацию элементов каркаса рекомендуется выбирать в соответствии с направлениями потоков главных усилий (ПГУ) [1], определяемых умножением главных напряжений на толщину соответствующего конечного элемента.

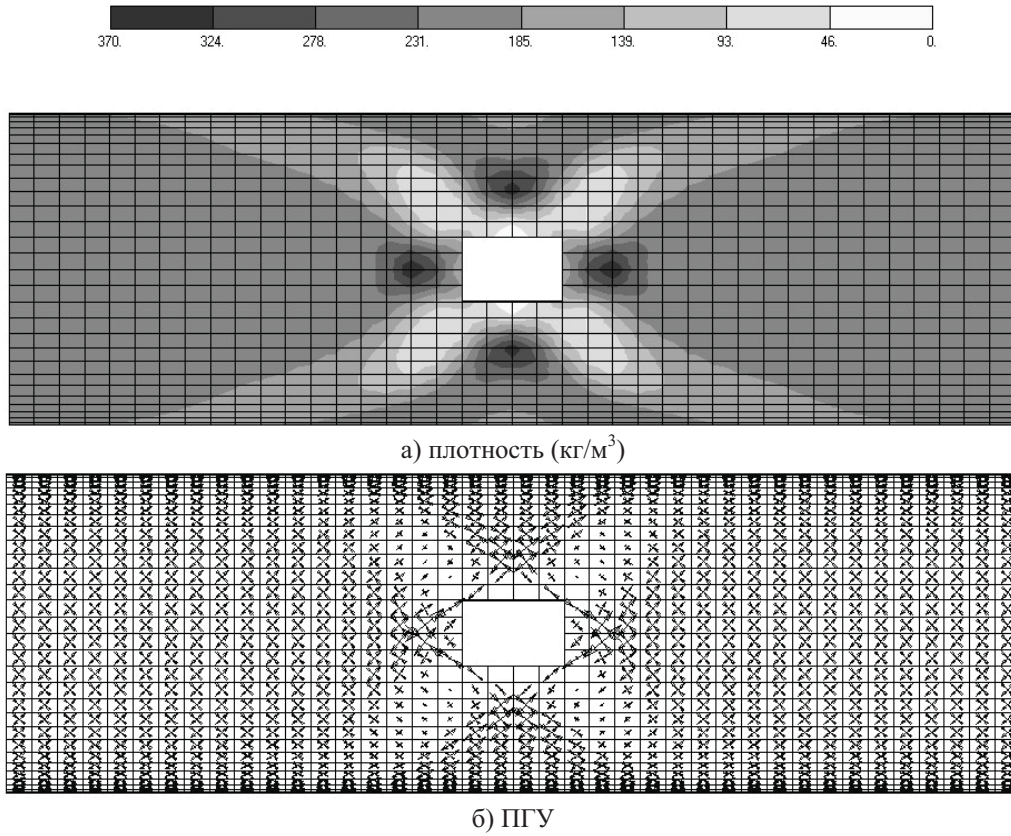


Рисунок 6 – Распределение материала и усилий во внешнем слое ТОК

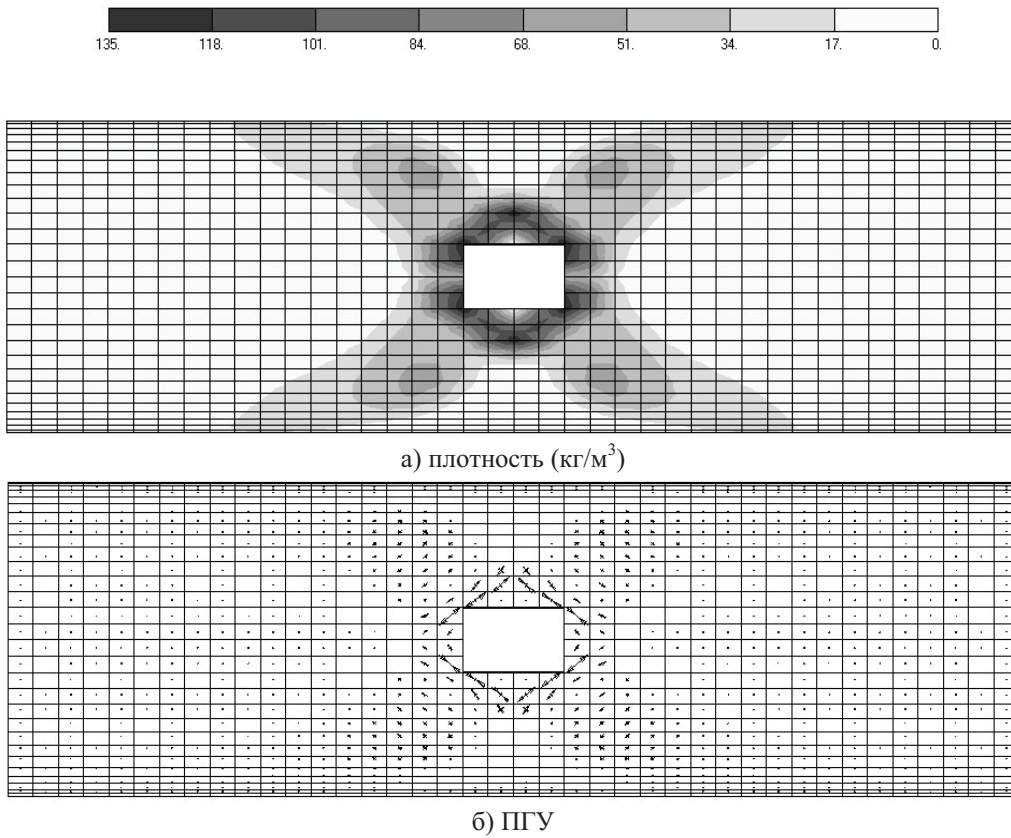


Рисунок 7 – Распределение материала и усилий в среднем слое ТОК

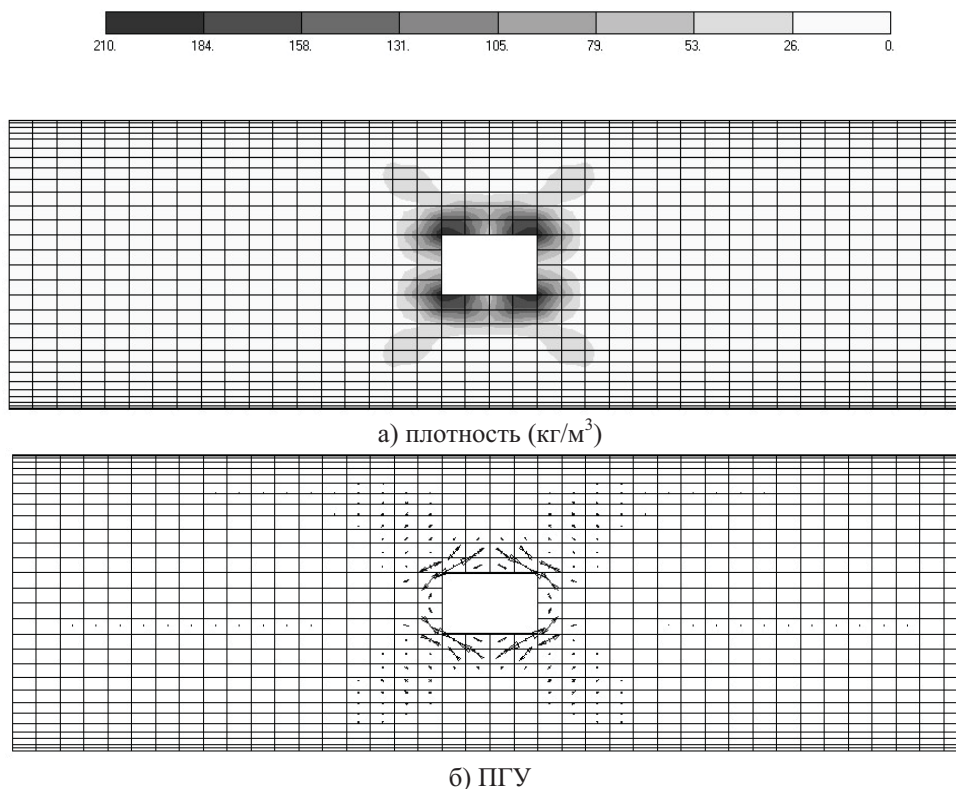


Рисунок 8 – Распределение материала и усилий во внутреннем слое ТОК

Наибольшие значения плотности достигнуты во внешнем слое континуальной модели (рисунок 6, а). Анализ усилий, действующих в ТОК, выявил зоны по углам выреза, в которых наблюдается одноосное напряжённое состояние (рисунки 6 – 8, б), направления ПГУ в этих зонах не совпадают с направлениями границ выреза. Поэтому конструкцию фюзеляжа целесообразно снабдить балками, расположенными по углам выреза в соответствии с направлениями ПГУ в этих зонах и образующих ромбовидную структуру.

Отметим, что процесс интерпретации силовой работы ТОК плохо формализуется и зависит от опыта конструктора. Для принятия технических решений по ССК для учебных заданий (блок 3 на рисунке 3) на лабораторных занятиях проводится «мозговой штурм». Студенты готовят для учебных заданий картины распределения материала и усилий в ТОК. Эта информация демонстрируется в аудитории на экране проектора, и участники мозгового штурма предлагают возможные структурные решения для объектов проектирования. Преподаватель фиксирует на доске все предлагаемые технические решения. Затем выполняется отбор идей, их систематизация и оценка. В ходе обсуждения можно комбинировать и дополнять идеи новыми элементами. Этот процесс позволяет выделить рациональные технические решения по ССК. В работах [8, 19] отмечено, что эвристические методы обучения эффективны, поскольку пробуждают активность обучающихся, развивают самостоятельность их мышления.

4 Диагностика обучения

Для проверки работоспособности методики обучения топологическому проектированию проведен педагогический эксперимент. В учебном процессе применялись промышленные пакеты прикладных программ *Siemens NX* [20] для разработки геометрических моделей, *NASTRAN* [21] для выполнения инженерного анализа конструкций и PLM-система *Windchill* [11] для управления проектными данными.

К участию в педагогическом эксперименте привлечены 5 групп студентов третьего и пятого курсов специальности «Самолёто- и вертолётостроение» с численным составом 10÷15 человек. Выбор студенческих групп обусловлен следующими соображениями. На начальных курсах подготовки специалистов изучаются преимущественно дисциплины математического и естественнонаучного цикла. На третьем курсе начинается изучение дисциплин профессионального цикла и, в частности, метод конечных элементов. На пятом курсе завершается инженерная подготовка, приобретаются навыки работы с системами инженерного анализа и PLM-системами. В процессе педагогического эксперимента рассматривается вопрос о целесообразности внедрения предложенной методики обучения топологическому проектированию конструкций в учебный процесс авиационных специальностей ВУЗов средних курсов обучения.

Для оценки эффективности обучения топологическому проектированию конструкций использован критерий Φ [22], который учитывает объём и эффективность применения знаний:

$$(2) \quad \Phi = \Omega \cdot P,$$

где Ω – полнота проработки проекта, определяемая экспертно в диапазоне (0÷100 %); P – достигнутый показатель эффективности проектного решения.

В качестве эксперта выступал преподаватель, оценивавший выполнение каждого этапа проекта в среде учебно-научного виртуального предприятия.

Показатель эффективности на i -ом этапе P_i определялся по формуле [9]:

$$(3) \quad P_i = \frac{G_{opt}}{G_i},$$

где G_{opt} – силовой фактор ТОК, определяемый по соотношению (1) интегрированием по объёму тела переменной плотности; G_i – силовой фактор конструкции, разработанной на этапе проекта, определяемый интегрированием по объёму конструкционного материала.

На рисунке 9 представлены результаты обучения студентов, достигнутые на основе предлагаемой методики. Цикл учебного проектирования от знакомства с интерфейсами автоматизированных систем CAD/CAE/PLM до сохранения итогового отчёта в PLM разделён на 8 этапов. На «опорной» траектории показаны результаты, которые мог бы достичь «идеальный» студент, выполнивший каждый этап проекта с максимальной оценкой и с максимальным показателем эффективности $P_i=1$.

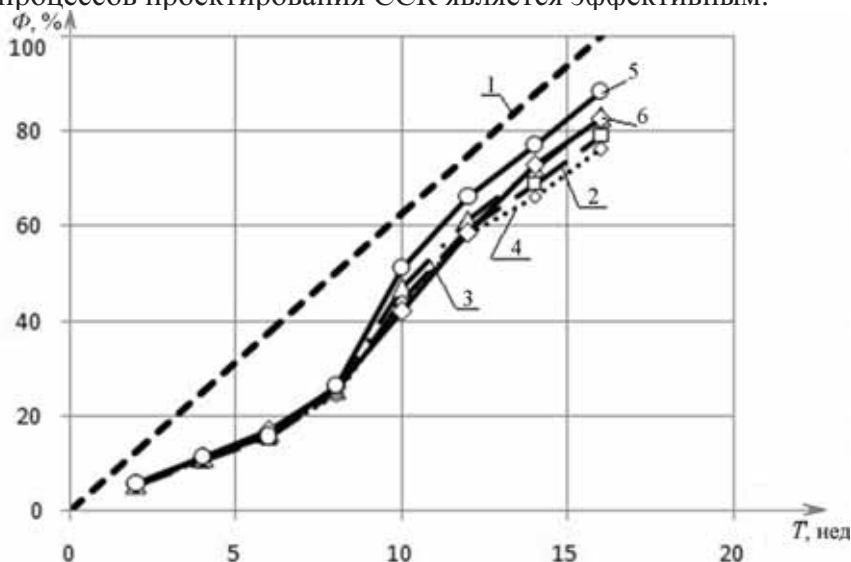
Формы траекторий обучения студенческих групп, полученные в результате педагогического эксперимента, визуально похожи на букву «S». Такая тенденция свидетельствует о непостоянстве скорости приобретения знаний и навыков на разных этапах проектных работ. Аналогичные «S»-образные кривые, характеризующие эффективность обучения автоматизированному проектированию, приводятся в работах [22, 23].

В результате выполнения проекта студентами достигнуты значения весового качества конструкций P_i в диапазоне от 0,87 до 0,96. Для студентов третьего курса этот показатель составил 0,87÷0,94, для студентов пятого курса 0,88÷0,96.

Значение интегрального показателя для всех студентов, участвовавших в педагогическом эксперименте, на заключительном этапе составило $\Phi=81,7\%$ со средним квадратическим отклонением значений в выборке 4,1 %. Для студентов третьего курса этот показатель составил 79,2%, для студентов пятого курса 85,5%.

Особенность процессов учебного проектирования по предлагаемой методике заключается в наличии этапа модификации ССК. В ходе педагогического эксперимента сравнивались технические решения, полученные студентами после анализа силовой работы ТОК (блок 3 на

рисунке 3) и на заключительном этапе обучения (после выполнения блоков 4–6 на рисунке 3). Для сравнения средних значений двух выборок на указанных этапах выполнена статистическая обработка групповых результатов обучения студентов с использованием критерия Стьюдента [24]. Выявлено увеличение показателя эффективности обучения P_i на 8,2% за счёт модифицирования ССК. Вычисленные эмпирические значения критерия Стьюдента оказались больше критических значений при вероятности допустимой ошибки, не превышающей 5%. Следовательно, педагогическое воздействие методики обучения на основе усовершенствованных процессов проектирования ССК является эффективным.



T – время учебного проектирования, выраженное в неделях, Φ – интегральный критерий;
 1 – «опорная» траектория обучения; 2,3,4 – траектории обучения групп студентов 3 курса;
 5 и 6 – траектории обучения групп студентов 5 курса

Рисунок 9 – Результаты педагогического эксперимента

Заключение

Представлена методика обучения топологическому проектированию конструкций, объединяющая следующие аспекты:

- тезаурус ПрО «Проектирование ССК»;
- базу учебных заданий на топологическое проектирование конструкций;
- процессы учебного проектирования ССК на основе модели деформируемого твёрдого тела переменной плотности [1, 5, 15], характеризующиеся активной творческой самостоятельной работой обучающихся в процессе отыскания рациональных решений;
- диагностику результатов обучения с оценкой статистической достоверности.

Результаты педагогического эксперимента свидетельствуют о работоспособности представленной методики обучения топологическому проектированию конструкций. При этом результаты обучения, достигнутые студентами третьего курса, оказались близки к значениям показателей студентов пятого курса, что свидетельствует о целесообразности внедрения методики обучения топологическому проектированию конструкций в учебный процесс авиационных специальностей ВУЗов, начиная уже со средних курсов обучения.

Список источников

- [1] **Комаров, В.А.** Проектирование силовых схем авиационных конструкций / В.А. Комаров // Актуальные проблемы авиационной науки и техники. – М.: Машиностроение. – 1984. – С. 114–129.

- [2] *Bendsoe, M.P.* Generating optimal topologies in structural design using a homogenization method / M. P. Bendsoe, N. Kikuchi // *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*. – 1988. – V. 71. – № 2. – P. 197–224.
- [3] *Комаров, В.А.* Точное проектирование / В.А. Комаров // *Онтология проектирования*. – 2012. – № 3(5). – С. 8–23.
- [4] *Комаров, А.А.* Основы проектирования силовых конструкций / А.А. Комаров. – Куйбышев: Куйбышевск. книжн. изд-во. – 1965. – 88 с.
- [5] *Комаров, В.А.* Повышение жёсткости конструкций топологическими средствами / В.А. Комаров // *Вестн. Самарск. гос. аэрокосм. ун-та*. – 2003. – № 1. – С. 24–37.
- [6] *Болдырев, А.В.* Развитие методики проектирования силовых схем авиационных конструкций с использованием модели тела переменной плотности / А.В. Болдырев, М.В. Павельчук // *Известия Самарского научно-го центра РАН*. – 2013. – Т. 15. – № 6(3). – С. 603–606.
- [7] *Болдырев, А.В.* Формализация проектирования силовых схем авиационных конструкций на основе процессного подхода / А.В. Болдырев, М.В. Павельчук // *Автоматизация. Современные технологии*. – 2015. – № 5. – С. 37–39.
- [8] *Комаров, В.А.* АОС и инженерная интуиция / В.А. Комаров, А.В. Соловов // *Вестник высшей школы*. – 1986. – № 2. – С. 30–33.
- [9] *Комаров, В.А.* Компьютерные тренажёры для конструкторов / В.А. Комаров, А.А. Черепашков // *Общероссийский научно-технический журнал “Полёт”*. – 1999. – № 8. – С. 31–36.
- [10] *Черепашков, А.А.* Обучение автоматизированному проектированию с использованием учебно-научного виртуального предприятия / А.А. Черепашков, А.В. Букатин // *Вестн. Самарск. гос. аэрокосм. ун-та*. – 2012. – № 5 (36). – С. 342–345.
- [11] *Морозов, В.В.* Основы технологий информационной поддержки изделий машиностроения: учебное пособие / В.В. Морозов, А.Б. Костерин, П.В. Стрелков, А.В. Фомин. – Владимир: Изд-во Владимир. гос. ун-та. – 2009. – 252 с.
- [12] *Боргест, Н.М.* Иерархические и ассоциативные связи между терминами в тезаурусе на примере словаря проектанта / Н.М. Боргест, Д.В. Шустова, С.Р. Гиматдинова // *Вестн. Самарск. гос. аэрокосм. ун-та*. – 2012. – № 2(33). – С. 228–236.
- [13] *Шустова, Д.В.* Подход к разработке семантических основ информационных систем для проектирования и производства авиационной техники / Д.В. Шустова // *Онтология проектирования*. – 2015. – Т. 5. – № 1(15). – С. 70–84.
- [14] *Вейсхаар, Т.А.* Человеческий фактор в проектировании авиационных конструкций / Т.А. Вейсхаар, В.А. Комаров // *Общероссийский научно-технический журнал “Полёт”*. – 1998. – № 1. – С. 17–23.
- [15] *Болдырев, А.В.* Развитие технологии проектирования авиационных конструкций на основе модели переменной плотности / А.В. Болдырев // *Общероссийский научно-технический журнал “Полёт”*. – 2009. – № 11. – С. 23–28.
- [16] *Комаров, В.А.* Весовой анализ авиационных конструкций: теоретические основы / В.А. Комаров // *Общероссийский научно-технический журнал “Полёт”*. – 2000. – № 1. – С. 31–39.
- [17] 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.
- [18] *Болдырев, А.В.* Автоматизированное проектирование силовых шпангоутов: метод. указания / А.В. Болдырев, В.А. Комаров. – Самара: Изд-во Самара. гос. аэрокосм. ун-та. – 2007. – 40 с.
- [19] *Хуторской, А.В.* Дидактическая эвристика: теория и технология креативного обучения / А.В. Хуторской. – М.: Изд-во МГУ. – 2003. – 416 с.
- [20] *Данилов, Ю.* Практическое использование NX / Ю. Данилов, И. Артамонов. – М.: ДМК Пресс. – 2011. – 332 с.
- [21] *Рычков, С.П.* MSC.visual Nastran для Windows / С.П. Рычков. – М.: НТ Пресс. – 2004. – 552 с.
- [22] *Черепашков, А.А.* Методика оценки эффективности подготовки целевого персонала машиностроительных САПР / А.А. Черепашков // *Известия Самарского научного центра РАН*. – 2011. – Т. 13. – № 4(3). – С. 896–899.
- [23] *Terdalkar, S.S.* Graphically driven interactive finite element stress reanalysis for machine elements in the early design stage / S. S. Terdalkar, J. J. Rencis // *Finite Elements in Analysis and Design*. – 2006. – V. 42. – № 10. – P. 884–899.
- [24] *Кыверялг, А.А.* Методы исследования в профессиональной педагогике. – Таллин: Изд-во «Валгус». – 1980. – 335 с.

TRAINING TECHNIQUE FOR TOPOLOGICAL STRUCTURES DESIGNING BASED ON A VARIABLE DENSITY BODY MODELS

A.V. Boldyrev¹, M.V. Pavelchuk²

Samara National Research University named after academician S.P. Korolev, Samara, Russia

¹bolav@ssau.ru, ²pmv90aircraft@gmail.com

Abstract

The article describes the training principles for topological structures designing. The ontology of subject area "The structural load-carrying layout designing" is given. The training technique of automated designing structural layouts using deformed solid body model with variable density is proposed. The educational process is based on creative pedagogy methods and is carried out in the environment of an educational and scientific virtual enterprise. The classification of training assignments for structural layouts designing is presented. Assignments are characterized by a multiplicity of engineering solutions and uncertainty in decision-making by rational structural layout. An example of a training assignment with the spatial design area, showing the aircraft fuselage structural layout designing in cutout region, based on deformed solid body model with variable density is given. The problems of assessment of training results the topological structural designing are considered. The results of the pedagogical experiment, demonstrating efficiency of the proposed training technique, are presented.

Key words: designing, topological optimization, continual model, training, thesaurus, decision making, pedagogical experiment.

Цитирование: Boldyrev AV, Pavelchuk MV. Training technique for topological structures designing based on a variable density body models. *Ontology of Designing*. 2016; 6(4): 501-513. DOI: 10.18287/2223-9537-2016-6-4-501-513.

References

- [1] Komarov VA. The aircraft structural layout design [In Russian] // Current Problems of Aviation Science and Technology. – Moscow: Mashinostroenie, 1984: 114-129.
- [2] Bendsoe MP, Kikuchi N. Generating optimal topologies in structural design using a homogenization method // Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, 1988, V. 71, № 2: 197-224.
- [3] Komarov VA. Concurrent design [In Russian] // Ontology of Designing, 2012, № 3(5): 8-23.
- [4] Komarov AA. The basics of structural design [In Russian]. – Kuibyshev: Kuibyshev book publisher, 1965. - 88 p.
- [5] Komarov VA. Structure stiffening by topological changes [In Russian] // Vestnik Samara State Aerospace Univ., 2003, № 1: 24-37.
- [6] Boldyrev AV, Pavelchuk MV. The development of method of designing the load-carrying layouts of aviation constructions using the model of a body of variable density [In Russian] // Proceedings of the Samara Scientific Center of Russian Academy of Sciences, 2013, V. 15, № 6(3): 603-606.
- [7] Boldyrev AV, Pavelchuk MV. Designing formalization of the aircraft constructions from a procedure approach [In Russian] // Avtomatizatsiya. Sovremennye Tekhnologii, 2015, № 5: 37-39.
- [8] Komarov VA., Solovov AV. Automated training systems and engineering intuition [In Russian] // Vestnik High School, 1986, № 2: 30-33.
- [9] Komarov VA, Cherepashkov AA. Computer exercise simulators for design engineers [In Russian] // Russian Scientific and Technical Journal "Polyot" ("Flight"), 1999, № 8: 31-36.
- [10] Cherepashkov AA, Bukatin AV. Experience of the deployment the CAD-complex at the educational virtual enterprise [In Russian] // Vestnik Samara State Aerospace Univ., 2012, № 5 (36): 342-345.
- [11] Morozov VV, Kosterin AB, Strelkov PV, Fomin AV. Fundamentals of technology information support of products engineering [In Russian]. – Vladimir: Vladimir. State. Univ., 2009. - 252 p.
- [12] Borgest NM, Shustova DV, Gimatdinova SR. Hierarchical and associative relations between the terms in the thesaurus in a designer's dictionary taken as an example [In Russian] // Vestnik Samara State Aerospace University, 2012, № 2 (33): 228-236.
- [13] Shustova DV. Approach to developing a semantic basis of information systems for design and production aircraft [In Russian] // Ontology of Designing, 2015, № 1(15): 70-84.
- [14] Weisshaar TA, Komarov VA. The human factor in the design of aircraft structures [In Russian] // Russian Scientific and Technical Journal "Polyot" ("Flight"), 1998, № 1: 17-23.

- [15] **Boldyrev AV**. A development of aircraft structure design technique based on a model of solid deformable body with variable density [In Russian] // Russian Scientific and Technical Journal "Polyot" ("Flight"), 2009, № 11: 23-28.
- [16] **Komarov VA**. The weight analysis of the aircraft structure: theoretical basis [In Russian] // Russian Scientific and Technical Journal "Polyot" ("Flight"), 2000, №1: 31-39.
- [17] State registration certificate of database "Training assignments for designing aircraft structural layout"[In Russian] / A.V. Boldyrev, V.A. Komarov, M.V. Pavelchuk. Russian Federation. Moscow: ROSPATENT. – № 2016620151; registered 02.02.2016; published 20.02.2016.
- [18] **Boldyrev AV, Komarov VA**. Automated designing the load-carrying bulkheads [In Russian]. – Samara: Publishing House of Samar. State. Aerospace Univ., 2007. - 40 p.
- [19] **Hutorskoy AV**. Didactic heuristics: Theory and technology of creative teaching [In Russian]. - Moscow: MSU, 2003. - 416 p.
- [20] **Danilov Yu, Artamonov I**. Practical use of NX [In Russian] - Moscow: DMK Press, 2011. - 332 p.
- [21] **Rychkov SP**. MSC.visual Nastran for Windows [In Russian] - Moscow: NT Press, 2004. - 552 p.
- [22] **Cherepashkov AA**. Technique of an estimation of effectiveness of the training the target personnel of the machine-building CAD [In Russian] // Proceedings of the Samara Scientific Center of Russian Academy of Sciences, 2011, V. 13, № 4(3): 896-899.
- [23] **Terdalkar SS, Rencis JJ**. Graphically driven interactive finite element stress reanalysis for machine elements in the early design stage // Finite Elements in Analysis and Design, 2006, V. 42, № 10: 884-899.
- [24] **Kyveryalg AA**. Research methods in professional pedagogy [In Russian]. - Tallinn: Publishing House "Valgus", 1980. - 335 p.

Сведения об авторах



Болдырев Андрей Вячеславович, 1963 г. рождения. Окончил Куйбышевский авиационный институт им. С.П. Королёва в 1986 г., д.т.н. (2012). Профессор кафедры конструкции и проектирования летательных аппаратов Самарского национального исследовательского университета им. академика С.П. Королёва, заместитель директора института авиационной техники. В списке научных трудов более 70 работ в области автоматизации проектирования авиационных конструкций.

Boldyrev Andrey Vyacheslavovich, (b. 1963) graduated from the Kuibyshev Aviation Institute named after S.P. Korolev in 1986, Dr. (2012). Professor at the Department of Aircraft Construction and Design at Samara National Research University, the deputy director of the Institute of Aeronautical Engineering of Samara University. The list of scientific papers includes more than

70 papers in the field of automation of designing of aircraft structures.



Павельчук Максим Владимирович, 1990 г. рождения. Окончил в 2012 г. Самарский государственный аэрокосмический университет им. академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет). Аспирант кафедры конструкция и проектирование летательных аппаратов Самарского национального исследовательского университета им. академика С.П. Королёва, ассистент. Автор 15 статей. Научные интересы: формализация процессов проектирования авиационных конструкций, обучение автоматизированному проектированию с применением CALS-технологий.

Pavelchuk Maksim Vladimirovich (b. 1990) graduated from the Samara State Aerospace University named after Academician S.P. Korolev (National Research University) in 2012. Post-graduate Student at the Department of Aircraft Construction and Design at Samara National Research University, assistant. The author of 15 articles. Scientific interests: formalization of

process designing the aircraft structures, training of automated engineering designing with using CALS-technologies.