

позднем возрасте достаточно трудно, особенно в отношении педагогического мастерства.

Подводя итог изложенному следует отметить, что идеи и принципы конструкторской подготовки, заложенные А.А. Комаровым, продолжают развиваться и воплощаться в жизнь его учениками. Конструкторская подготовка на факультете обеспечивает выпуск инженеров, имеющих глубокие теоретические знания, обладающих оригинальным конструкторским мышлением и глубоким пониманием силовой работы всех элементов самолета. Это позволяет говорить о создании в СГАУ оригинальной школы подготовки конструкторских кадров, которая вполне отвечает современным требованиям и выпускники которой могут успешно работать во многих областях науки и техники.

ББК Ч 480.25

В.А. Комаров, А.А. Черепашков

ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТРЕНАЖЕРОВ ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ ИНЖЕНЕРОВ

(Самарский государственный аэрокосмический университет)

На страницах популярных изданий уже банальным выглядит утверждение, что грядущее 21-е столетие станет веком компьютерным. Даже социальные потрясения последнего десятилетия и без этого бурной истории нашей страны не смогли заслонить в глазах россиян очередной виток всемирного технического прогресса, который вызван внедрением информационных технологий практически во все области жизнедеятельности человека. Сегодня сама возможность заниматься любой интеллектуальной работой требует освоения компьютера. Уже стало очевидным, что без поддержки новых информационных технологий трудно добиться конкурентоспособного качества, должной расторопности и производительности, а значит и конечного успеха и в самом перспективном финансово-экономическом проекте, и в многосложном производственном процессе.

В среде специалистов по компьютеризации признано, что одними из самых сложных и наукоемких информационно-технических направлений являются системы автоматизированного проектирования (САПР). В настоящее время наиболее развитые - полномасштабные САПР интегрируют в себе практически все этапы создания нового технического объекта -от проектирования и конструирования до производства и испытаний (системы САД-CAM-СЛБ). Однако, вкладывая существенные силы и немалые средства в

технику, зачастую упускают из вида, что производительность человеко-машинной системы определяется не только возможностями компьютера, но и навыками человека. Именно человек, включенный в состав сложной автоматизированной системы, обычно оказывается ее самым слабым звеном. Это обстоятельство порождает, казалось бы, парадоксальную на первый взгляд ситуацию. Специалист, в помощь которому мобилизованы сверхбыстрые машины и гигабайты информации, не только не освобождается от интеллектуальных усилий, а напротив должен обладать еще более высокой квалификацией, чем при традиционных технологиях. Парадокс объясняется тем, что компьютер может взять на себя, как правило, рутинные операции такие, как громоздкие вычисления, поиск, передача, ввод/вывод информации. А удельный вес ответственной для человека работы, связанной с анализом и принятием решений, которая требует от него профессиональных знаний, опыта и развитой интуиции, только возрастает. К тому же, пользователю автоматизированной системы нужны дополнительные знания и умения по управлению программными и техническими средствами.

Компьютеры могут стать залогом прорыва в благополучное будущее не сами по себе, но только включенные в технологическую цепочку, ключевым звеном которой по-прежнему остается человек - специалист. Традиционно приобретение знаний успешно решается проверенными классическими методами обучения. А вот развитие умений и навыков, накопление опыта, которое происходит только в результате практической деятельности, как правило, откладывается на будущее. Действительно, при традиционном подходе к обучению студент, выполнив вручную 1-2 учебных проекта, успевает освоить только методику расчета. Накопление опыта традиционно происходит трудным и неблагодарным путем проб и ошибок уже в процессе производственной работы. Цена ошибки в условиях функционирования специалиста в составе автоматизированной системы может стать слишком большой.

Помощь для развития необходимых пользователю навыков и умений в предметной области могут оказать сами компьютерные системы и технологии, включенные в учебный процесс. Автоматизированные системы, использующие современные достижения средств математического моделирования материального мира, дают безусловно колоссальные возможности для решения задач анализа, для поиска оптимальных решений. У человека появляется возможность получать и исследовать свойства оптимальных технических решений. При большом количестве вариантов задачи такой анализ позволяет выявить основные закономерности изменения проектных характеристик в зависимости от изменения проектных переменных. Это способствует быстрому изучению свойств объекта проектирования. В этом случае САПР является не только инструментом для решения задач, но и особой средой для ускоренного накопления профессионального опыта. Однако обучающий потенциал промышленных систем по целому ряду причин реализуется далеко не в полной мере [1,2]

Для раскрытия и развития обучающих возможностей автоматизированных инженерных систем представляется целесообразным создание специализированных обучающих подсистем САПР, выступающих в роли своеобразных инженерных тренажеров. Многолетний опыт авторов в использовании комплекса компьютерных тренажеров показал их высокую эффективность.

Рассмотрим в качестве примера одну из таких систем: «Тренажер для конструктора», которая уже более 10 лет используется в Самарском государственном аэрокосмическом университете [3]. Основное назначение тренажера - развитие творческих способностей инженера по проектированию конструкций минимальной массы, которые воспринимают и передают внешние нагрузки.

Одной из важнейших стадий проектирования является выбор силовой схемы конструкции, которая определяется типом силовых элементов, количеством, способом их соединения друг с другом и расположением в пространстве. В силовом проектировании опытный конструктор обычно интуитивно решает одновременно две задачи.

ПЕРВАЯ ЗАДАЧА. Как передать силы самым выгодным способом ?

В реальной инженерной практике задачи отыскания рациональных силовых схем конструкций, как правило, весьма нетривиальны, например, как в задаче, приведенной на рис. 1.

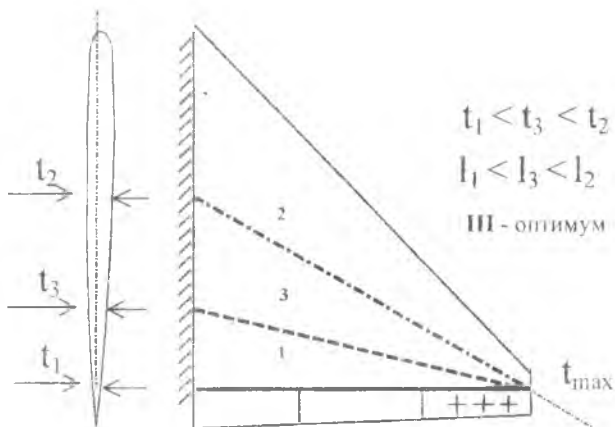


Рис. 1

Здесь для треугольного крыла основные нагрузки приложены к элерону, как показано + + +. Эту нагрузку можно передать на борт различными

способами в зависимости от ориентации лонжеронов. На рис.1 показаны три возможных варианта. 1 - самый короткий лонжерон, но он имеет очень маленькую строительную высоту. 2 - лонжерон имеет максимальную строительную высоту, но он очень длинный. 3- компромиссный вариант, он должен дать наиболее выгодное сочетание строительной высоты лонжерона и его длины. Найти его не так просто! На рис. 2 показана другая типичная задача авиационного конструктора. Какую схему выбрать для крепления кия ?

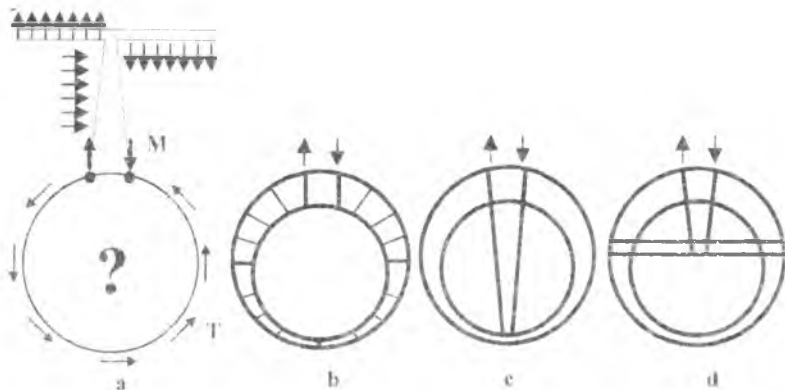


Рис. 2

Известно много решений для этой задачи. Например, шпангоут переменной строительной высотой (b); мачтовая схема (c); комбинированная схема (d) и т.д. Но какая из них лучше ? Эта задача структурной оптимизации, для решения которой разработаны специальные алгоритмы [4].

ВТОРАЯ КОНСТРУКТОРСКАЯ ЗАДАЧА возникает, когда мы имеем много случаев нагружения. Как заставить одни и те же элементы конструкции работать эффективно в нескольких случаях нагружения ? На рис. 3 показана статически определимая ферма, которая нагружается одинаковыми силами P_1 и

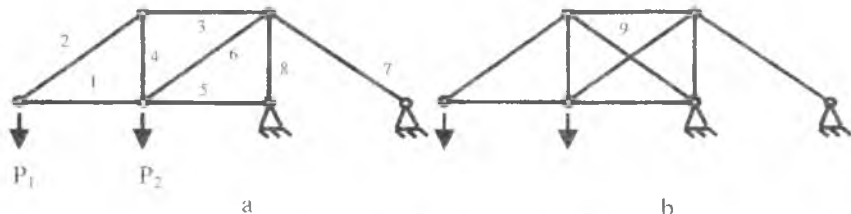


Рис.3

в разное время.

В этой ферме во втором случае нагружения (P_2) усилия в стержнях 1,2,3,4 равны нулю. Материал не используется ! Нетрудно убедиться, что добавление стержня 9 в эту ферму делает ее статически неопределимой и позволяет найти более выгодный проект Примерно на 10 % !

В обсуждаемом тренажере ферма используется только как простейшая силовая конструкция для развития интуиции дизайнера, для лучшего понимания физической сущности задач оптимального проектирования силовых конструкций. Для этих целей предлагается решить специально подобранные задачи в типичной для конструктора постановке (рис. 4). Известно: допускаемая проектная область (1) ; геометрические ограничения на расположение конструкции (2) ; условия закрепления (3) ; условия нагружения (4).

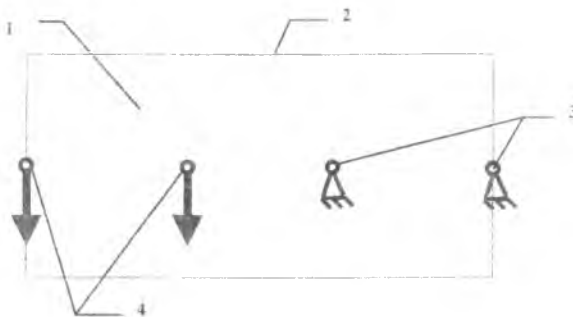


Рис. 4

Требуется найти наилучшую структуру конструкции для этих условий.

Для достижения максимального обучающего эффекта в тренажере предложен следующий порядок проектирования.

- Пользователь предлагает какую-либо рациональную конструкцию на основе своей собственной интуиции. Тренажер сравнивает эту ферму с теоретически оптимальной конструкцией (ТОК) и с некоторой лучшей фермой, которая была предложена в прошлом для этих же условий. Причем разница может оказаться очень большой.
- Пользователь улучшает конструкцию за счет изменения положения узлов, добавления и удаления новых узлов и стержней (эта процедура может выполняться многократно со специальной помощью, предусмотренной в тренажере).
- Только на одном из последних этапов учебной работы обучаемый может воспользоваться методами оптимизации. Так, для выбора оптимального расположения узлов применяется метод анализа чувствительности [5]. А для обоснованного выбора рациональной структуры пользователь может проанализировать графические картины распределения материала и потоков главных усилий в теоретически оптимальной конструкции. И снова делается попытка улучшить свой проект.

Тренажер имеет библиотеку специально разработанных конструкторских задач и средства для ее пополнения. Возможность решения учебных задач неподготовленным пользователем при работе в тренажерном режиме обеспечивается за счет развитого графического пользовательского интерфейса с многоуровневой помощью. Преподавателю предоставляется возможность

анализа автоматически накопленной информации по учебной деятельности пользователей для оценки и коррекции [6].

Приводим некоторые результаты наблюдений за работой студентов с тренажером. К участию в эксперименте были привлечены несколько групп пользователей с различной подготовкой в области проектирования. Решаемые в процессе тестирования задачи выбирались из стандартного сборника задач, который имеет тренажер (как, например, задача, приведенная на рис. 4) и были одинаковы для всех групп обучаемых.

На графике рис.5 показаны оценки теста (1gr.-3gr.), который продолжался одинаковое по продолжительности время в каждой группе. При этом варианты решений разрабатывались обучаемыми на основании интуитивных соображений и опыта, накопленного в предшествующем обучении.

Наименее удачные конструкции были предложены группой абитуриентов (12 человек), которые готовились к поступлению в технический университет (1gr). Предварительно с ними было проведено вводное занятие и показаны примеры решения конструкторских задач. Для многих это было первое знакомство с проектированием, навыки и опыт практически отсутствовали. В столбце 2 1gr показан средний результат второго теста, проведенного после цикла обучения на тренажере. Отмечено, что способы графического интерфейса, разработанные специально для тренажеров, не вызвали затруднений в работе у самой неподготовленной группы пользователей. А в результате обучения отмечается заметное улучшение предлагаемых решений.

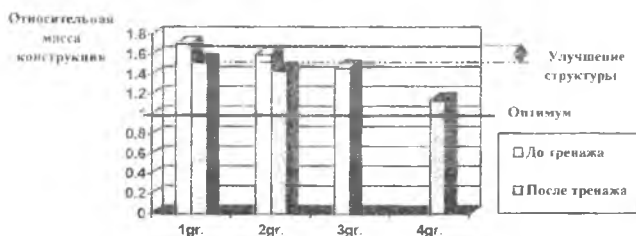


Рис. 5

Столбец 2gr показывает среднюю оценку решений, полученных в группе студентов (20 человек), которые прошли подготовку по общим техническим дисциплинам, расчету на прочность, строительной механике и т.д. После обучения на тренажере они показали результаты, приведенные в столбце 2 2gr.

В столбце 3gr показаны результаты контрольного теста группы инженеров с опытом работы, которые проходили переподготовку в университете (17 человек). Можно видеть, что относительная масса конструкций в проектах студентов, прошедших интенсивную подготовку на тренажере близка к результатам практикующих инженеров.

В столбце 4gr приведена оценка решений, полученных в результате работы с тренажером группой студентов старших курсов (80 человек), которые прошли полный курс обучения на тренажере и использовали его для выполнения проектов по курсу конструирования. Задачи решались без ограничения по времени. Студенты сами моделировали на тренажере и анализировали теоретически оптимальные конструкции.

В этих результатах интересно отметить следующие особенности. Во-первых, разница в массе конструкций, предлагаемых на основе интуиции, и теоретически оптимальных конструкций в начале работы с тренажером «неожиданно» велика (до 60-70 процентов (2gr - 3gr рис.5)). Мы пишем «неожиданно» в кавычках, так как бытует мнение, что методы оптимального проектирования могут дать в инженерных задачах только 5-10% процентов улучшения по сравнению с интуитивным проектированием. В действительности структурное проектирование в задачах механики достаточно сложно и ничего удивительного в таких результатах нет. Это только подтверждение необходимости обучения структурному проектированию.

Во-вторых, 5-6 выходов на тренажер с активной и результативной работой по несколько учебных часов (необходимо проработать весь сборник задач) может снизить эту разницу, в новых задачах конечно, до 10-15% (4gr). Это свидетельствует о высокой обучающей способности тренажера.

При работе с любой обучающей системой возникает вопрос об оценке ее эффективности. В нашем случае совершенство проекта можно оценить отношением $p = W_{opt}/W_{ст}$, где $W_{ст}$ - масса конструкции, предложенной студентом. Тогда оценка очень плохого проекта близка к нулю, а оценка очень хорошего проекта стремится к единице. Совершенство проектов в результатах нашего тестирования показано на рис.6.

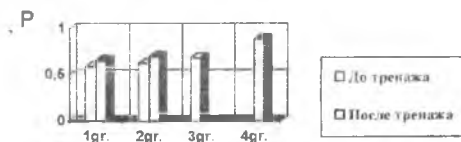


Рис.6

Заметим, что совершенство 0.5 неудовлетворительное, так как такая конструкция вдвое тяжелее, чем оптимальная. Заметим также, что получить в ходе обучения переход с совершенства проекта 0.8 на уровень 0.9 гораздо трудней, чем с 0.7 на 0.8. Затраты интеллектуальных усилий для приближения к уровню 1.0 имеют, вероятно, гиперболический характер. Поэтому для оценки квалификации конструктора можно использовать отношение качества конструкции к величине недобора до оптимума $q = p/(1-p)$. Результаты тестирования с использованием этого критерия будут выглядеть, как показано на рис.7.

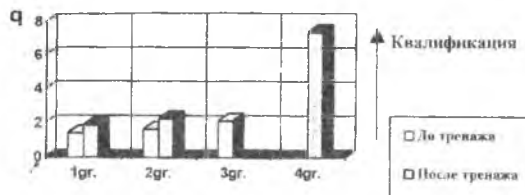


Рис. 7

Результаты, полученные **4gr.** уже достаточно близки к теоретически оптимальным решениям для данного типа учебных конструкторских задач. Надо учитывать, что конструктивные ограничения не позволяют достичь в реальных задачах абсолютного экстремума, причем каждый процент снижения массы вблизи от теоретически оптимального требует значительно большего искусства, чем начальные приближения.

При создании «Тренажера для конструктора» разработаны достаточно универсальные (для данного класса задач) компьютерные инструменты, позволяющие оперативно изготавливать подобные программные продукты. Отработаны информационные и методические технологии построения компьютерных тренажеров. В отличие от промышленных систем, методика учебного проектирования должна преследовать две основные цели: пробудить интерес к решаемой задаче и дать максимум информации для понимания ее физической и математической сути. В ходе совершенствования обучающих подсистем выработался целый ряд довольно общих принципов и правил построения компьютерных тренажеров.

- Учебная проектная задача для тренажера формулируется как оптимизационная: выбираются проектные переменные, определяется целевая функция или критерии оптимальности, записываются ограничения.
- Методы моделирования, расчета и визуализации, выбранные для реализации тренажера, должны обеспечивать достаточно полный и подробный анализ свойств объектов, демонстрировать реальное соотношение параметров.
- Определенная последовательность прохождения обучаемым сценария учебной работы должна обеспечиваться использованием детерминированного графического интерфейса.
- Интуитивное проектирование и математическая оптимизация должны использоваться в строгой последовательности. На начальных этапах учебной работы проводится обязательный эвристический поиск обучаемым решения проектной задачи без раскрытия ему оптимального решения. Оптимальный проект демонстрируется пользователю только на завершающих этапах обучения.
- Предъявление текущего результата проектирования производится обучаемому в виде сопоставления с показателем эффективности теоретически оптимального проекта.

- Сравнение решения обучаемого с лучшими решениями, полученными ранее другими пользователями. Это не только стимулирует интерес обучаемого, но и помогает ему установить связи и переходы между теоретически оптимальными и практическими рациональными проектами.
- Предъявление обучаемому информации по математическим моделям, результатам расчетов и оптимизации в графической форме удобной для анализа качественных зависимостей между проектными переменными.
- Наличие многоуровневой помощи для поддержки пользователей с различным уровнем подготовки. Уровни помощи могут различаться по степени подробности и раскрытию путей к нахождению решения. Помощь разного уровня может использоваться одним и тем же пользователем при продолжительной или многократной работе с тренажером.
- Создание игровых и соревновательных ситуаций в сценариях учебной работы на компьютере и при проведении групповых учебных занятий преподавателем.
- Накопление и использование контрольной информации о ходе решения учебной задачи каждым пользователем. Например, целесообразно учитывать количество эвристических попыток решения задачи, количество обращений за помощью, показатели эффективности решений задач и т.п. В случае относительно простых задач наличие этой функции позволяет использовать тренажер в качестве одного из тестов для оценки способностей к конструкторской работе.

Надо заметить, что применение тренажеров особенно эффективно при участии опытного преподавателя, который может дать вводные объяснения, увязав с соответствующим курсом лекций, умело организовать учебную деятельность (например, соревнование), квалифицированно произвести анализ и разбор полученных проектов.

Эти методические принципы и информационные технологии использованы при создании целого ряда тренажеров [6, 7] для развития в первую очередь способностей человека к неформальной конструкторской деятельности: для изучения работы конструкций с учетом потери устойчивости, проектирования стержневых деталей сложных сечений, болтовых и заклепочных соединений, соединений «ухо-вилка» и др.

Одним из последних разработан инженерный тренажер для подготовки к проектированию конструкций из композитных материалов. Композитные материалы в настоящее время являются одними из самых перспективных для создания силовых конструкций различного назначения - от агрегатов самолетов до спортивного инвентаря. Эффективность композитов во многом объясняется их высокими и необычными упругими свойствами, которые зависят от структуры армирования и могут меняться в широких диапазонах. Проектировщик может сам формировать необходимые свойства материала. Это делает задачу проектирования композитных конструкций весьма непростой [8] и требует организации специальной подготовки и переподготовки конструкторов.

Постановка учебной проектно-конструкторской задачи выглядит следующим образом. Обучаемому предлагается исследовать прямые и обратные задачи. Для фрагмента композитной панели (рис. 8), нагруженной потоками усилий X , Y , T , проектными переменными служат: число слоев, толщины, материал и ориентация каждого однонаправленного слоя.

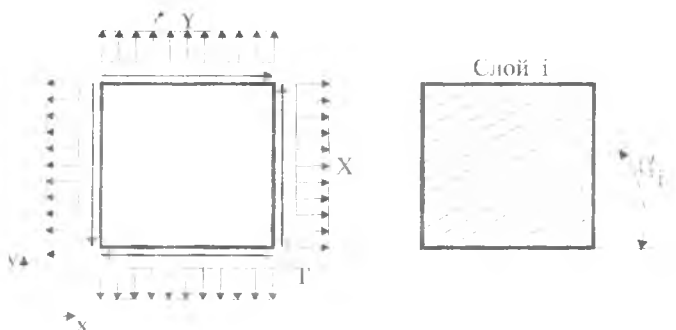


Рис. 8.

Даже для задачи в такой, казалось бы, простой постановке тренажер позволяет организовать целый цикл учебных занятий с заданиями нарастающей сложности.

Решение прямой задачи (анализ). Расчет и визуализация напряженно-деформированного состояния (НДС) композитной панели по заданным нагрузкам и параметрам пакета.

Решение обратной задачи (синтез). Для заданной анизотропии подбираются необходимые параметры композитной панели.

Работа пользователя с тренажером организована в интерактивном режиме с использованием графических манипуляторов, пиктографических и выпадающих меню. Дружественный интерфейс позволяет обучаемому оперативно подбирать и модифицировать параметры пакета. Для анализа результаты предъявляются в легко обозримой и наглядной графической форме (рис 9). Тренажер снабжен гипертекстовой контекстно-зависимой помощью, а также блоком «Суфлер», который выдаст пользователю соответствующую моменту подсказку на каждом шаге учебной работы.

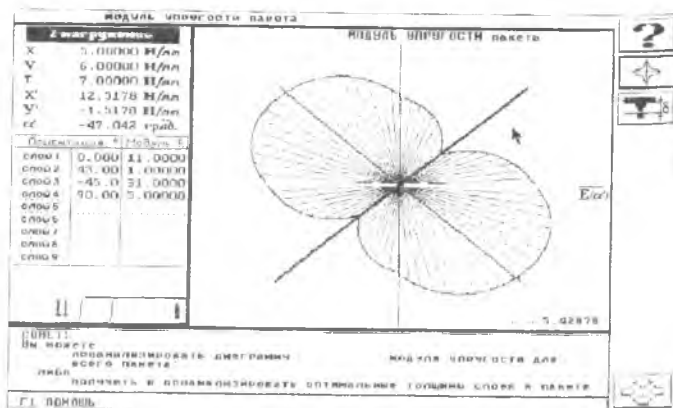


Рис. 9

В сценарии этого тренажера соревновательная ситуация порождается оценкой отклонения от заданных упругих свойств интуитивно спроектированного композита.

Длительный опыт использования комплекса компьютерных тренажеров показал их достаточно высокую эффективность. Как правило, каждый тренажер позволяет организовать для студентов цикл интересных занятий. Заметим, однако, что создание каждого из тренажеров - довольно сложная творческая работа, особенно на этапе изобретения остроумного сценария учебной работы. Подготовка наглядной и поучительной задачи для тренажера - также весьма непростое дело. На этапе постановки задачи, как правило, необходим опытный методист-профессионал, поскольку наряду с целями проектирования необходимо выявить и сформулировать цели обучения, предложить обоснованную методику тренажа.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тренажер для конструктора. Данилин А.И., Комаров В.А., Соловов А.В., Черепашков А.А.- Куйбышев, 1983.-26 с. Деп. в НИИВН 08.08.83. № 264-83.
2. Комаров В.А., Соловов А.В. АОС и инженерная интуиция. Вестник высшей школы. 1986, №2, с. 30-33.
3. Черепашков А.А. Тренажер для подготовки к автоматизированному проектированию структур силовых конструкций: диссертация. к. т. н. - Куйбышевский авиационный институт, 1987.- 220 с.
4. Комаров В.А. Проектирование силовых схем авиационных конструкций.- в книге: Актуальные проблемы авиационной науки и техники. М.: Машиностроение, 1984, с. 114-129.

5. Хог Э., Чой К., Комков В. Анализ чувствительности при проектировании конструкций. -М.:Мир, 1988.-28 с.
6. Черепашков А.А. Применение компьютерных инженерных тренажеров для интенсификации обучения конструированию и проектированию. Тез. докл. научно-метод. конф. Интенсивные технологии обучения в подготовке специалистов. Самара, СГАУ, 1996 г.
7. Черепашков А.А. Комплекс компьютерных инженерных тренажеров для обучения конструированию Тез. докл. научно-метод. конф. Компьютерные технологии обучения: концепции, опыт, проблемы, Самара, СГТУ, 1997 г.
8. Комаров В.А. Автоматизация проектирования авиационных конструкций. Самара, СГАУ.- 1993- 70 с.

ББК Ч 480.25

А.И.Ермаков, Г.В.Иванов, В.С.Кузьмичев,
В.В.Кулагин, Н.Ф.Мусаткин, Н.И.Старцев,
С.А.Шустов

НЕКОТОРЫЕ ПРОБЛЕМЫ КОМПЬЮТЕРНОЙ ТЕХНОЛОГИИ СКВОЗНОГО КУРСОВОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ НА ФАКУЛЬТЕТЕ ДВИГАТЕЛЕЙ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ (Самарский государственный аэрокосмический университет)

Проблема повышения качества образования в XXI веке будет решаться прежде всего за счет индивидуализации обучения, разработки и применения разнообразных учебных компьютерных систем, создания и применения на основе глобальной компьютерной сети национальной системы дистанционного образования.

В этой связи интегрированная компьютерная технология сквозного курсового проектирования (СККП), которая сейчас разрабатывается на факультете двигателей летательных аппаратов Самарского государственного аэрокосмического университета, представляет определенный интерес.

Концептуальная схема СККП приведена на рис.1, из которого следует, что цикл работ от проектного термогазодинамического расчета до рабочих чертежей и технологических процессов изготовления деталей охвачен шестью курсовыми работами и четырьмя проектами.

С помощью СККП должна решаться прежде всего задача развития творческих способностей студентов, расширения и углубления знаний в области создания сложных технических объектов на примере авиационных газотурбинных двигателей. Сквозное курсовое проектирование призвано обеспечить понимание студентами взаимодействия различных наук, которые они изучают в отдельности, а также моделирование реального процесса