

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«КАЛИНИНГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ»

**О. В. Агеев**

**АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ПРОИЗВОДСТВО  
ДЕТАЛЕЙ НА ОСНОВЕ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ**

Учебно-методическое пособие по изучению дисциплины для студентов,  
обучающихся в магистратуре по направлению подготовки  
15.04.01 Машиностроение

Калининград  
Издательство ФГБОУ ВО «КГТУ»  
2022

УДК 658.512.26

Рецензент

доктор технических наук, заведующий кафедрой инжиниринга  
технологического оборудования ФГБОУ ВО «Калининградский  
государственный технический университет»

Ю. А. Фатыхов

Агеев, О. В.

Автоматизированное проектирование и производство деталей на основе перспективных физических методов: учеб.-метод. пособие по изучению дисциплины для студ. магистратуры по напр. подгот. 15.04.01 Машиностроение / О. В. Агеев. – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВО «КГТУ», 2022. – 40 с.

В учебно-методическом пособии по изучению дисциплины «Автоматизированное проектирование и производство деталей на основе перспективных физических методов» представлены учебно-методические материалы по освоению тем лекционного курса, включающие подробный план лекции по каждой изучаемой теме, вопросы для самоконтроля, материалы по подготовке к практическим занятиям.

Табл. 3, список лит. – 12 наименований

Учебное пособие рассмотрено и рекомендовано к опубликованию кафедрой инжиниринга технологического оборудования 21 апреля 2022 г., протокол № 3

Учебно-методическое пособие по изучению дисциплины рекомендовано к изданию в качестве локального электронного методического материала методической комиссией института агроинженерии и пищевых систем ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет» 30 ноября 2022 г., протокол № 12

УДК 658.512.26

© Федеральное государственное  
бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Калининградский государственный  
технический университет», 2022 г.  
© Агеев О. В., 2022 г.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ.....	9
2. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДГОТОВКЕ К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ.....	23
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	38
ПРИЛОЖЕНИЕ.....	39

## ВВЕДЕНИЕ

Современная техника машиностроительных производств является сложной и разнообразной, характеризуется высокой динамичностью, обусловленной интенсивным ростом потребностей в высококачественных изделиях и непрерывным расширением сфер их использования. Эта особенность развития техники оказывает влияние на конструкторскую деятельность. Всё чаще конструктор должен предвидеть всё возможное многообразие ожидаемых условий использования разрабатываемых изделий и осознанно формировать стратегию обновления базовых моделей и исполнения этих изделий в обозримой перспективе.

Прогресс пищевых систем, потребность в новых видах готовой продукции, развитие биотехнологий обуславливают увеличение объема проектных работ. Требования к качеству проектов, срокам их выполнения, качеству и техническому уровню неуклонно возрастают. Это связано с усложнением проектируемых объектов и систем, увеличением функциональных возможностей промышленных изделий, совершенствованием технологий пищевой инженерии.

Вместе с тем ясно, что удовлетворить этим требованиям невозможно за счёт простого увеличения количества проектировщиков. Сказывается снижение общей численности научного и инженерно-технического персонала в пищевой отрасли. Кроме того, имеются организационные ограничения на параллельное выполнение проектных работ. Одним из путей решения этой проблемы является комплексная автоматизация проектирования.

Цель автоматизации проектирования – повышение качества проектных работ и изделий, снижение материальных затрат, сокращение сроков проектирования, повышение производительности труда разработчиков. Два десятка лет тому назад среди целей автоматизации проектирования указывалась необходимость сокращения количества инженерно-технических работников, занятых проектированием. В современных условиях речь идет скорее о компенсации нехватки инженеров-проектировщиков, необходимости учета и совершенствования предшествующего проектного опыта с помощью систем автоматизированного проектирования (САПР).

Наряду с этим, отметим сложность процесса создания новой техники, поскольку одновременное достижение вышеуказанных целей даже на основе САПР является достаточно редким результатом. Часто удается ускорить процесс проектирования без улучшения качества изделий, при этом не всегда происходит снижение материальных затрат.

Следует учитывать, что комплексная автоматизация проектирования должна быть обдуманной и обоснованной. Необходим правильный учет возможностей вычислительной математики и ЭВМ для обеспечения

компромисса между требованиями высокой точности, степени универсальности, приемлемых затрат труда инженеров-проектировщиков и экспертов на сбор исходной, зачастую трудно формализуемой информации.

При распределении функций между ЭВМ и инженером целесообразно возлагать на ЭВМ задачи проектирования, поддающиеся формализации. К таким задачам можно отнести: моделирование объектов пищевой инженерии в геометрическом и графическом аспектах, оформление технической документации, разработку планов размещения пищевого оборудования, расчеты на прочность, металлоемкость, технологичность. Многие из этих задач могут решаться в конструкторских САПР на базе персональных ЭВМ, оснащенных соответствующим математическим и программным обеспечением.

Как показывает многолетняя практика, наилучшей формой организации процесса проектирования на основе САПР является так называемое интерактивное взаимодействие между инженером и ЭВМ с использованием машинной графики.

Машинная графика представляет собой совокупность программных и аппаратных средств, предназначенных для хранения, машинного преобразования и вывода на внешние устройства ЭВМ информации о результатах моделирования объекта проектирования и чертежно-графических документах. Машинная графика является неотъемлемой частью САПР, так как предоставляет инженеру возможность контролировать и корректировать действия ЭВМ на всех стадиях машинного проектирования, делая это на наиболее естественном для себя языке.

Интерактивное взаимодействие – это обмен сообщениями между проектировщиком и ЭВМ, при котором вычислительная система осуществляет прием, обработку и выдачу результатов в реальном масштабе времени.

Современная конструкторская разработка должна опираться на знание основных принципов формирования техники, закономерностей развития и обновления технических объектов и предусматривать использование соответствующих методов и средств автоматизированного проектирования.

Методические основы автоматизированного проектирования должны развиваться совместно с общими методологическими основами конструирования изделий. Последнее позволит разработчикам полноценно и эффективно использовать современную методологию конструирования, математический аппарат и технические средства автоматизации конструкторских работ. Это означает, что конструктор должен иметь представление о методах технического творчества, изобретательской деятельности, прогностики, инженерной системогенетики, информатики и решения оптимизационных задач.

Поскольку важнейшее место среди информационных источников, наряду с описаниями изобретений, занимают отечественные и зарубежные стандарты,

библиотеки типовых конструкций, нормативно-технические справочники и конструкторские документы на унифицированные узлы, детали, конструктивные элементы и материалы, конструктор должен иметь развитое представление о стандартизации и технологичности, имеющих большое значение при автоматизированном проектировании.

Дисциплина «Автоматизированное проектирование и производство деталей на основе перспективных физических методов» является дисциплиной, формирующей у обучающихся готовность к профессиональной деятельности в области технологических машин и оборудования.

Целью освоения дисциплины является формирование знаний и навыков в области структуры процесса проектирования; концептуальных основ компьютеризации инженерных знаний; методики компьютеризации конструкторского проектирования; методики компьютеризации технологического проектирования; программного обеспечения; подготовка к организационно-технической, экспериментально-исследовательской и проектно-конструкторской профессиональной деятельности, связанной с автоматизированным проектированием современных, надежных технологических машин и оборудования.

Задачами дисциплины являются следующие:

- изучение основ инженерной системологии и методологии компьютеризации инженерных знаний;
- освоение методов и средств разработки концептуальных конструкторско-технологических моделей данных;
- освоение методов и средств разработки параметризованных геометрических моделей деталей, производство которых осуществляется на основе перспективных физических методов;
- изучение организации проектных работ, их характера и специфики;
- постижение методологии проектирования новой техники;
- освоение основ изобретательского творчества;
- усвоение возможностей существующих методов и средств автоматизации проектных работ;
- ознакомление с комплексом задач и проблем автоматизации проектирования;
- изучение перспектив развития и совершенствования автоматизации проектирования.

Результатами освоения дисциплины является поэтапное формирование требуемых компетенций у обучающихся.

«Автоматизированное проектирование и производство деталей на основе перспективных физических методов» – дисциплина образовательной программы магистратуры по направлению подготовки 15.04.01 «Машиностроение».

При реализации дисциплины «Автоматизированное проектирование и производство деталей на основе перспективных физических методов» организуется практическая подготовка путем проведения практических и лабораторных занятий, предусматривающих участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

В результате изучения дисциплины студент должен:

знать: понятия и определения в конструкторском и технологическом проектировании; методы и этапы конструкторского и технологического проектирования; принцип оформления конструкторской и технологической документации при проектировании; действующую нормативную документацию в конструкторском и технологическом проектировании и оформлении документации; понятия и определения в области автоматизации проектирования; требования в области систем автоматизированного проектирования;

уметь: применять знания и понимание при разработке изделий с использованием средства автоматизированного проектирования при решении задач конструкторско-технологической подготовки производства; оформлении результатов проектирования в конструкторскую и технологическую документацию в соответствии с действующей нормативной документацией; выборе пакета из числа систем автоматизированного проектирования для решения прикладных задач в конструкторско-технологической подготовке производства; выполнении трехмерной модели изделия на основе чертежа в САД-пакете; выполнении ассоциативного чертежа в САДпакете; выполнении имитационного моделирования изделия с использованием трехмерной модели в САЕ-пакете;

владеть: методиками сбора и анализа исходных информационных данных для проектирования изделий машиностроения и технологий их изготовления; методиками расчета и проектирования деталей и узлов машиностроительных конструкций в соответствии с техническими заданиями и использованием стандартных средств автоматизации проектирования; методиками разработки рабочей проектной и технической документации, оформления законченных проектно-конструкторских работ; навыками работы в пакете интерактивной машинной графики.

Для успешного освоения дисциплины «Автоматизированное проектирование и производство деталей на основе перспективных физических методов», студент должен активно работать на лекционных и практических занятиях, организовывать самостоятельную внеаудиторную деятельность.

Для оценивания поэтапного формирования результатов освоения дисциплины (текущий контроль) предусмотрены практические задания. Решение практических задач обучающимися проводится на практических занятиях после изучения соответствующих тем.

Для оценки результатов освоения дисциплины используются:

- оценочные средства поэтапного формирования результатов освоения;

- оценочные средства для промежуточной аттестации по дисциплине.

К оценочным средствам поэтапного формирования результатов освоения дисциплины (текущий контроль) относятся:

- опросы по теоретическому материалу;
- контроль на практических занятиях.

К оценочным средствам для промежуточной аттестации по дисциплине, проводимой в форме экзамена, соответственно относятся:

- вопросы к экзамену по дисциплине.

Промежуточная аттестация по дисциплине проводится в форме экзамена.

К экзамену допускаются студенты:

- положительно аттестованные по результатам освоения дисциплины.

Универсальная система оценивания результатов обучения приведена в таблице 1 и включает в себя системы оценок: 1) «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно»; 2) «зачтено», «не зачтено»; 3) 100-балльную (процентную) систему и правило перевода оценок в пятибалльную систему.

Таблица 1 – Система оценок и критерии выставления оценки

Система оценок	2	3	4	5
	0–40 %	41–60 %	61–80 %	81–100 %
Критерий	«неудовлетворительно»	«удовлетворительно»	«хорошо»	«отлично»
	«не зачтено»	«зачтено»		
<b>1. Системность и полнота знаний в отношении изучаемых объектов</b>	Обладает частичными и разрозненными знаниями, которые не может научно-корректно связывать между собой (только некоторые из которых может связывать между собой)	Обладает минимальным набором знаний, необходимым для системного взгляда на изучаемый объект	Обладает набором знаний, достаточным для системного взгляда на изучаемый объект	Обладает полной полнотой знаний и системным взглядом на изучаемый объект
<b>2. Работа с информацией</b>	Не в состоянии находить необходимую информацию, либо в состоянии находить отдельные фрагменты информации в рамках поставленной задачи	Может найти необходимую информацию в рамках поставленной задачи	Может найти, интерпретировать и систематизировать необходимую информацию в рамках поставленной задачи	Может найти, систематизировать необходимую информацию, а также выявить новые, дополнительные источники информации в рамках поставленной задачи
<b>3. Научное осмысление изучаемого явления, процесса, объекта</b>	Не может делать научно корректных выводов из имеющихся у него сведений, в состоянии проанализировать только не-	В состоянии осуществлять научно корректный анализ предоставленной информации	В состоянии осуществлять систематический и научно корректный анализ предоставленной информации,	В состоянии осуществлять систематический и научно корректный анализ предоставленной информации, вовлекает в исследование новые

Система оценок  Критерий	2	3	4	5
	0–40 %	41–60 %	61–80 %	81–100 %
	«неудовлетворительно»	«удовлетворительно»	«хорошо»	«отлично»
	«не зачтено»	«зачтено»		
	которые из имеющихся у него сведений		вовлекает в исследование новые релевантные задачи данные	релевантные поставленной задаче данные, предлагает новые курсы поставленной задачи
<b>4. Освоение стандартных алгоритмов решения профессиональных задач</b>	В состоянии решать только фрагменты поставленной задачи в соответствии с заданным алгоритмом, не освоил предложенный алгоритм, допускает ошибки	В состоянии решать поставленные задачи в соответствии с заданным алгоритмом	В состоянии решать поставленные задачи в соответствии с заданным алгоритмом, понимает основы предложенного алгоритма	Не только владеет алгоритмом и понимает его основы, но и предлагает новые решения в рамках поставленной задачи

При необходимости для обучающихся инвалидов или обучающихся с ОВЗ предоставляется дополнительное время для подготовки ответа с учетом его индивидуальных психофизических особенностей.

Для успешного освоения дисциплины «Автоматизированное проектирование и производство деталей на основе перспективных физических методов» в учебно-методическом пособии по изучению дисциплины приводится краткое содержание каждой темы занятия, перечень вопросов для подготовки к практическим занятиям и организации самостоятельной работы студентов.

## **1 МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ**

Осваивая курс «Автоматизированное проектирование и производство деталей на основе перспективных физических методов», студент должен научиться работать на лекциях, практических занятиях и организовывать самостоятельную внеаудиторную деятельность. В начале лекции необходимо уяснить цель, которую лектор ставит перед собой и студентами. Важно внимательно слушать, отмечать наиболее существенную информацию и кратко ее конспектировать; сравнивать то, что услышано на лекции с прочитанным и усвоенным ранее материалом в области проектирования технологических линий, подбора оборудования пищевых производств, укладывать новую информацию в собственную, уже имеющуюся, систему знаний. По ходу лекции необходимо подчеркивать новые термины, определения, устанавливать их взаимосвязь с изученными ранее понятиями.

Основными видами учебной деятельности в ходе изучения курса являются лекции, практические занятия, консультирование по решению практических заданий.

При разработке образовательной технологии организации учебного процесса основной упор сделан на соединение активной и интерактивной форм обучения. Интерактивная форма позволяет студентам проявить самостоятельность в освоении теоретического материала и овладении практическими навыками, формирует интерес и позитивную мотивацию к учебе.

При чтении лекций преподаватель имеет право самостоятельно выбирать формы и методы изложения материала, которые будут способствовать качественному его усвоению. При этом преподаватель в установленном порядке может использовать технические средства обучения, имеющиеся на кафедре и в университете.

Вместе с тем всякий лекционный курс является в определенной мере авторским, представляет собой творческую переработку материала и неизбежно отражает личную точку зрения лектора на предмет и методы его преподавания. В этой связи представляется целесообразным привести некоторые общие методические рекомендации по построению лекционного курса и формам его преподавания.

Лекции составляют основу теоретической подготовки и посвящены наиболее важным моментам по проектированию технологических линий в рыбной промышленности. При проведении лекций необходимо использовать технические средства обучения, ЭИОС, применять методы, способствующие активизации познавательной деятельности слушателей. На лекциях целесообразно теоретический материал иллюстрировать рассмотрением различных примеров и конкретных задач. Имеет смысл привлекать студентов к обсуждению как рассматриваемого вопроса в целом, так и отдельных моментов рассуждений и доказательств. Необходимо также использовать возможности проблемного изложения, дискуссии с целью активизации деятельности студентов.

Практические занятия проводятся для закрепления основных теоретических положений курса и реализации их в практических расчетах, формирования и развития у студентов мышления в рамках будущей профессии.

На практических занятиях следует добиваться точного и адекватного владения теоретическим материалом и его применения для решения задач.

Важным звеном во всей системе обучения является самостоятельная работа обучающихся. В широком смысле под ней следует понимать совокупность всей самостоятельной деятельности студентов, как в отсутствие преподавателя, так и в контакте с ним. Она является одним из основных методов поиска и приобретения новых знаний, работы с литературой, а также

выполнения предложенных заданий. Преподаватель призван оказывать в этом методическую помощь студентам и осуществлять руководство их самостоятельной работой.

Необходимо контролировать степень усвоения студентами текущего материала, а также уровень остаточных знаний по уже изученным темам.

При изучении курса предусмотрены следующие формы текущего контроля:

- опросы по теоретическому материалу;
- контроль на практических занятиях.

Промежуточный контроль осуществляется в форме сдачи экзамена во 2-м семестре и имеет целью определить степень достижения учебных целей по дисциплине.

С целью формирования мотивации и повышения интереса к предмету особое внимание при чтении курса необходимо обратить на темы, которые можно проиллюстрировать примерами из практической сферы, связывая теоретические положения с будущей профессиональной деятельностью студентов.

Тематический план лекционных занятий представлен в таблице 2.

Таблица 2 – Объем (трудоемкость освоения) и структура лекционных занятий

Номер темы	Содержание лекционного занятия
1	История развития САПР. Системные основы проектирования машин и аппаратов
2	Методы научно-технического синтеза вариантов оборудования
3	Предпроектные исследования технологического оборудования
4	Системный подход при создании САПР
5	Виды обеспечений САПР
6	Математическое обеспечение САПР
7	Стандартизация технических решений в условиях САПР
8	Обеспечение технологичности конструкций в САПР
9	Производство изделий машиностроения на основе перспективных физических методов

Если лектор приглашает студентов к дискуссии, то необходимо принять в ней активное участие. Если на лекции студент не получил ответа на возникшие

у него вопросы, он может в конце лекции задать эти вопросы лектору курса дисциплины.

## **Тема 1. История развития САПР. Системные основы проектирования оборудования**

*Ключевые вопросы темы*

1. Этапы развития ЭВМ. Этапы развития информационных технологий. Предпосылки к созданию САПР.

2. Современные проблемы развития программных средств. Пассивные и активные информационные ресурсы.

3. Содержание инженерной деятельности.

4. Классификация понятий технических систем. Техника пищевой инженерии как сложная техническая система.

5. Системное описание техники пищевой инженерии (макроскопическое, микроскопическое, функциональное, иерархическое, морфологическое, процессуальное).

6. Критерии эффективности технической системы. Понятие системы применительно к САПР. Общие системные характеристики. Операции процесса проектирования.

*Ключевые понятия:* ЭВМ, стадии проектирования, техническая система, виды описаний техники, критерии эффективности, процесс проектирования.

*Литература:* [3, с. 6–25].

*Методические рекомендации:*

Первая тема курса дисциплины «Автоматизированное проектирование и производство деталей на основе перспективных физических методов» позволит обучающимся получить представление о базовых понятиях дисциплины, в ней также определяется место изучаемого материала в системе научного знания и его взаимосвязь с другими дисциплинами.

При изучении данной темы курса необходимо уделить внимание основным терминам и определениям, особенностям видов проектирования, последовательности работ, предшествующих разработке проекта. Понять важность и необходимость разработки системных описаний сложной технической системы.

*Вопросы для контроля*

1. Перечислите основные этапы развития информационных технологий.

2. Что входит в содержание инженерной деятельности?

3. Приведите классификацию технических систем.

4. Перечислите основные виды системных описаний технических систем.

5. Что входит в понятие «критерий эффективности технической системы»?

6. Перечислите основные операции процесса проектирования.

7. Назовите основные стадии процесса проектирования.

## **Тема 2. Методы научно-технического синтеза вариантов оборудования**

### *Ключевые вопросы темы*

1. Понятие об изобретательской деятельности.
2. Патентование новых разработок.
3. Общее понятие о художественном конструировании и эргономике.
4. Общее понятие о разработке и принятии технических решений.
5. Иерархическая система управления и принятия решений.
6. Основные понятия теории принятия решений.
7. Анализ ограничений решения в САПР.

*Ключевые понятия:* изобретение, патент, эргономика, техническая эстетика, дизайн, теория принятия технических решений.

*Литература:* [3, с. 26–66]

*Методические рекомендации:*

При освоении данной темы курса необходимо рассмотреть виды объектов изобретательской деятельности. Определить основные критерии, по которым определяется новизна технических решений. Подробно рассмотреть понятия о художественном конструировании и эргономике. Техническая эстетика и эргономика являются важными составными частями научной базы продуцирующей, созидательной деятельности человека. Они исследуют специфические особенности взаимодействия компонентов системы «человек-техника-среда» с целью обеспечения условий наиболее гармоничного развития этих компонентов. Рассмотреть понятие дизайна, который является составной частью конструирования промышленных изделий. В его задачи входит обеспечение удобства пользования изделием путем придания ему художественной выразительности, гармонически целостной формы и других свойств, максимально соответствующих условиям использования его по назначению. Изучить основные критерии при принятии технических решений и их особенности.

### *Вопросы для контроля*

1. В чем суть блочно-иерархического подхода к разработке?
2. Перечислите основные принципы построения технических систем.
3. Дайте определение основным системным представлениям объекта разработки.
4. Как используются ориентированные графы для получения основных системных представлений объекта разработки или исследования?
5. Постройте дерево целей, функций и морфологии для машины, аппарата или отдельного механизма.
6. Перечислите и охарактеризуйте основные виды исследований и разработок.

7. Что общего и что различного между процедурами и операциями проектирования?

### **Тема 3. Предпроектные исследования технологического оборудования**

#### *Ключевые вопросы темы*

1. Этапы и цикл комплексного проектирования.
2. Классы систем инженерной деятельности.
3. Этапы жизненного цикла изделия.
4. Разработка сценария проблемы.
5. Построение «дерева целей».
6. Понятие об инженерном прогнозировании.
7. Разработка технического задания.

*Ключевые понятия:* жизненный цикл изделия, «дерево целей», прогноз, техническое задание.

*Литература:* [3, с. 67–86]

*Методические рекомендации:*

В изучаемой теме необходимо рассмотреть подробно виды предпроектных исследований и разработок. Изучить понятие научных исследований, что такое фундаментальные, поисковые, прикладные и опытно-конструкторские разработки. Рассмотреть содержание основных этапов проведения НИР. Подробно изучить понятие «сценарий проблемы», который представляет собой описательную модель создания ТС, включающую в себя набор словесных описаний проблемы. Рассмотреть процессы выбора направления разработки, формирование замысла проектирования.

#### *Вопросы для контроля*

1. Какие основные системные представления объекта проектирования удастся получить в процессе структуризации?
2. Как составляется сценарий проблемы?
3. Разработайте матрицу взаимодействия элементов машины или аппарата. Постройте на ее основе структуру этой технической системы.
4. Какие задачи могут быть решены с помощью математического моделирования в ходе НИОКР?
5. Каким образом дерево целей используется для поиска направлений развития ТС?
6. Что собой представляют матрицы типа «цель-средство»? Приведите примеры таких матриц для заданных целей.
7. Как можно оценить значимость и целесообразность возможного направления развития ТС на начальных этапах НИР?

## **Тема 4. Системный подход при создании САПР**

### *Ключевые вопросы темы*

1. Системная модель САПР.
2. Цели и средства компьютеризации инженерной деятельности.
3. Критерии развития САПР.
4. Совокупность критериев развития технической системы.
5. Функциональные критерии.
6. Технологические критерии.
7. Экономические критерии.
8. Критерии эргономичности.
9. Классификация отношений и свойств САПР.

*Ключевые понятия:* системный подход, критерии развития, свойства САПР, функционально-стоимостной анализ.

*Литература:* [3, с. 87–136]

*Методические рекомендации:*

При изучении рассматриваемой темы обучающимся необходимо понять основные принципы системного подхода к проектированию технических систем. Рассмотреть задачи структурного и параметрического синтеза. Изучить понятие CALS – принятую в промышленно развитых странах концепцию информационной поддержки жизненного цикла изделий, основанная на использовании интегрированной информационной среды, обеспечивающую единообразные способы информационного взаимодействия всех участников этого цикла: заказчиков и производителей изделий, эксплуатационного и ремонтного персонала. Изучить такие виды описаний технических систем, как функциональное, морфологическое, информационное. Необходимо отметить, что выделяются проектные операции – достаточно законченные последовательности действий, завершающиеся определенными промежуточными результатами. Последовательности проектных операций, приводящие к решению проектных задач, являются проектными процедурами.

### *Вопросы для контроля*

1. Постройте дерево технических решений для фаршевого сепаратора и синтезируйте на его основе несколько вариантов этой машины.
2. Произведите оценку вариантов фаршевого сепаратора, синтезированных ранее, с помощью «положительно-отрицательных» матриц.
3. Как произвести функционально-стоимостной анализ вариантов ТС?
4. Как произвести структурно-стоимостной анализ вариантов ТС?
5. Какую роль играют технико-экономические обоснования на этапах НИОКР?
6. Какими преимуществами обладает человек перед ЭВМ?
7. Перечислите функции, которые берет на себя ЭВМ в САПР.

## **Тема 5. Виды обеспечений САПР**

### *Ключевые вопросы темы*

1. Математическое обеспечение САПР.
2. Информационное обеспечение САПР.
3. Методические обеспечение САПР.
4. Лингвистическое обеспечение САПР.
5. Организационное обеспечение САПР.
6. Программное обеспечение САПР.
7. Техническое обеспечение САПР.

*Ключевые понятия:* понятие обеспечения САПР, его структура, назначение, возможности интеграции, длительность разработки.

*Литература:* [3, с. 136–154]

*Методические рекомендации:*

Техническое обеспечение (комплекс технических средств САПР) представляет собой материальную основу автоматизированного проектирования. В его составе выделяются группы технических средств: подготовки и ввода данных, передачи данных, программной обработки данных, отображения и документирования данных и архива проектных решений. Эти группы соответствуют различным этапам решения проектных задач – от ввода данных до сохранения результатов проектирования в архиве проектных решений и выдачи проектной документации. Математическое обеспечение включает в себя математические модели объектов проектирования, а также методы и алгоритмы проектных операций и процедур. Программное обеспечение систем автоматизированного проектирования представляет собой совокупность программ, необходимых для обработки исходной информации по проектным алгоритмам, управления вычислительным процессом, организации хранения исходных и промежуточных данных. Информационное обеспечение САПР представляет собой всю совокупность данных проектирования вместе с программно-аппаратными средствами их управления. Лингвистическое обеспечение САПР представляет собой целостную совокупность формальных языков описания информации и алгоритмов ее обработки в процессе автоматизированного проектирования. В методическое обеспечение САПР включается совокупность документов, нормирующих правила выбора и эксплуатации комплекса средств автоматизации проектирования при решении конкретных проектных задач. Организационное обеспечение САПР содержит полную совокупность нормативных материалов, определяющих место и функции САПР в составе проектной организации.

### *Вопросы для контроля*

1. Перечислите известные вам виды САПР.

2. Приведите примеры проектирующих и обслуживающих подсистем САПР.
3. Расскажите об основных видах обеспечений САПР.
4. Что собой представляют компоненты САПР?
5. Перечислите и кратко охарактеризуйте проектирующие подсистемы САПР технологического оборудования.
6. Перечислите и кратко охарактеризуйте обслуживающие подсистемы САПР технологического оборудования.
7. Расскажите о комплексе технических средств САПР технологического оборудования.

## **Тема 6. Математическое обеспечение САПР**

### *Ключевые вопросы темы*

1. Виды математических моделей в САПР.
2. Структурные математические модели.
3. Геометрические модели.
4. Общие методы построения геометрических моделей.
5. Классификация и основные виды функциональных моделей.

*Ключевые понятия:* математическая модель объекта проектирования, геометрическая модель, топологическая модель, структурный граф объекта, функциональная модель, принципы построения математических моделей объекта.

*Литература:* [3, с. 160–184]

*Методические рекомендации:*

Математическое обеспечение автоматизированного проектирования включает в себя математические модели объектов проектирования, а также методы и алгоритмы проектных операций и процедур.

В ходе своей активной деятельности человек издавна использует модели реальных объектов, моделирование явлений для отработки идей, проверки гипотез, получения экспериментального материала. Связано это с тем, что на практике обычно требуется исследовать лишь некоторые стороны изучаемых объектов или явлений. Для этого же бывает достаточно использовать другие объекты или процессы, называемые моделями, с помощью которых можно проще, удобнее, точнее, дешевле получить отображение свойств и характеристик изучаемых объектов. Таким образом, под моделированием какого-либо объекта (системы, явления) понимают воспроизведение и исследование другого объекта в форме, удобной для исследований, и перенос полученных сведений и результатов на моделируемый объект.

Из существующих способов моделирования можно выделить четыре основных, получивших широкое распространение на практике:

- масштабное моделирование, когда натуральный объект и модель имеют одинаковую физическую природу и отличаются размерами, причем масштаб по различным направлениям может быть неодинаковым. Наглядным примером масштабного моделирования является продувка моделей самолетов, судов, автомобилей в аэродинамических трубах;

- аналоговое моделирование, когда объекты одной физической природы заменяются объектами другой физической природы на основе прямых аналогий. Аналоговая вычислительная техника служит примером использования электромоделей для изучения реальных объектов различной физической природы – механических, гидравлических, тепловых и т. д.;

- полунатурное моделирование является методом экспериментального исследования, когда часть изучаемого объекта представлена в виде модели, а часть оригинала используется в натуре в едином комплексе с моделью. Например, движение самолета, управляемого автопилотом, можно моделировать комплексом, в котором движение самолета заменяется какой-либо моделью (аналоговой), а автопилот подключается к ней настоящий. Типичными примерами полунатурных моделей являются различные тренажеры;

- математическое моделирование, когда для описания реальных явлений и процессов используются абстрактные математические объекты, такие как переменные, векторы, числа, множества, графы и т. д.

Каждый из указанных способов моделирования имеет свои достоинства и недостатки. Выбор того или иного способа моделирования определяется в каждом конкретном случае в зависимости от поставленных задач, свойств изучаемого объекта и условий его работы.

#### *Вопросы для контроля*

1. Перечислите виды математических моделей в САПР.
2. Что такое аналоговое моделирование объекта проектирования?
3. Какие требования предъявляются к математической модели объекта?
4. Перечислите виды поверхностей в геометрических моделях.
5. Что представляет собой функциональная модель объекта?
6. Что такое структурная математическая модель?
7. Назовите основные положения теории параметризации.

### **Тема 7. Стандартизация технических решений в условиях САПР**

#### *Ключевые вопросы темы*

1. Основные понятия и показатели стандартизации и унификации изделий.
2. Определение весовых коэффициентов.
3. Основные методы оценки уровня стандартизации и унификации.
4. Контроль стандартизации и унификации.
5. Оптимизация уровня стандартизации.

6. Определение количественных значений показателей стандартизации и унификации.

*Ключевые понятия:* уровень стандартизации конструкции, уровень унификации изделия, весовой коэффициент, взаимозаменяемость.

*Литература:* [3, с. 185–198]

*Методические рекомендации:*

Объектами стандартизации являются продукция, а также правила, обеспечивающие ее разработку, производство и применение. Следует рассмотреть три направления стандартизации как нормотворческой деятельности:

– разработка и применение организационно-технических стандартов, устанавливающих порядок и правила разработки продукции, подготовки ее производства, изготовления, испытаний, хранения, транспортирования, технического обслуживания и ремонта;

– разработка и применение общетехнических стандартов, регламентирующих общетехнические нормы (допуски и посадки, нормы точности и другие нормы научно-технического и производственного назначения), научно-технические термины и обозначения, унифицированные системы конструкторской, технологической и других видов документации;

– разработка и применение стандартов и технических условий на продукцию, устанавливающих технические требования к ней, методы контроля и испытаний, правила приемки и поставки. Стандарт – нормативно-технический документ по стандартизации, разработанный на основе достижений науки, техники и передового опыта, устанавливающий комплекс норм, правил, требований к объекту стандартизации и утвержденный компетентным органом в соответствии с положениями Государственной системы стандартизации.

Стандарт может быть разработан как на материальные предметы (продукцию, эталоны, образцы веществ), так и на нормы, правила, требования к объектам организационно-технического или общетехнического характера.

Технические условия – нормативно-технический документ, разработанный в составе комплекта технической документации на конкретные типы, марки, артикулы продукции и устанавливающий комплекс требований к ним в соответствии с положениями Государственной системы стандартизации.

Технические условия разрабатывают на конечные изделия, поставляемые потребителю, или комплектующие изделия к ним, выпускаемые другими предприятиями, за исключением составных частей изделия, поставляемых по кооперации.

*Вопросы для контроля*

1. Определение и понятия стандартизации. Объекты и органы по стандартизации. Краткая история развития стандартизации. Методы стандартизации.

2. Изложите общую структуру ГСС (Государственная Система Стандартизации).

3. Какие виды стандартов применяются в РФ?

4. Применение международных и национальных стандартов на территории РФ.

5. Органы государственного управления, осуществляющие государственный контроль и надзор за соблюдением обязательных требований государственных стандартов.

6. Определение стандарта. Понятия нормы и правила. Категории и виды стандартов, ТУ и регламенты.

7. Общетехнические комплексы стандартов (ЕСКД, ЕСТД, ГС И и т.п.). Международная организация по стандартизации ИСО, ее структура и функции.

## **Тема 8. Обеспечение технологичности конструкций в САПР**

### *Ключевые вопросы темы*

1. Основные методы обеспечения технологичности конструкций.

2. Определение весовых коэффициентов.

3. Основные методы оценки уровня технологичности изделия.

4. Контроль технологичности конструкций.

5. Определение количественных значений показателей технологичности.

*Ключевые понятия:* технологичность изделия, конструктивная преемственность, принципы рационального проектирования конструкции, эксплуатационная технологичность, ремонтная технологичность.

*Литература:* [3, с. 198–217]

*Методические рекомендации:*

В экономном использовании материальных, энергетических и трудовых ресурсов при создании, применении и обновлении современных сложных изделий исключительна роль обеспечения технологичности конструкции изделия – одной из важнейших функции конструкторской подготовки производства. Эта функция предусматривает взаимосвязанное решение соответствующих конструкторских и технологических задач на этапах ОКР (главным образом, на проектных стадиях) и направлена на достижение оптимальных материальных, энергетических и трудовых затрат и сокращение времени на производство, эксплуатацию и ремонт изделия. Она реализуется посредством специальных методических подходов к подготовке и принятию технических решений при конструировании изделия.

Технологичность конструкции изделия проявляется через его свойства на различных стадиях жизненного цикла, включая подготовку производства, изготовление, транспортирование, подготовку к функционированию, техническое обслуживание, ремонт и утилизацию, в виде затрат ресурсов

(материалов, энергии, труда, средств и времени), определяемых конструктивно-технологическими особенностями изделия.

Знание этих свойств и применение математических методов для их количественной оценки позволяют воздействовать на них в требуемом направлении и оптимизировать перечисленные выше затраты при безусловном обеспечении установленных значений других показателей качества и принятых условиях разработки, изготовления, технического обслуживания и ремонта.

К комплексу свойств, образующих технологичность конструкции изделия и предопределяющих методы ее обеспечения, относятся технологическая рациональность и преемственность конструкции изделия. Поскольку эти свойства формируются в процессе конструирования изделия, обеспечение технологичности его конструкции становится неотъемлемой составной частью конструкторской подготовки производства.

Преемственность конструкции изделия рассматривается по существу в единстве изменяемости и повторяемости принятых в его конструкции инженерных решений.

При обеспечении технологичности конструкции изделия необходимо учитывать две группы свойств, характеризующих преемственность его конструкции:

– совокупность свойств изделия, определяющих его конструктивную преемственность и характеризующих единство повторяемости в нем компонентов (конструктивных элементов и связей между ними), относящихся к множеству исполнений изделия, и применимости новых компонентов, новизна которых обусловлена функциональным назначением изделия;

– совокупность свойств изделия, определяющих его технологическую преемственность, т.е. единство изменяемости и повторяемости технологических методов выполнения, поддержания и восстановления компонентов исполнения, которые обладают в нем качественной определенностью.

#### *Вопросы для контроля*

1. Перечислите основные методы обеспечения технологичности конструкций.
2. Какие свойства объекта определяют его технологичность?
3. Как оценивается технологическая рациональность конструкции изделия?
4. Что характеризует преемственность конструкции?
5. Что такое технологическая рациональность?
6. Что выражает ремонтная технологичность конструкции?
7. Какие факторы следует учитывать при конструировании сборочной единицы?

## **Тема 9. Производство изделий машиностроения на основе перспективных физических методов**

### *Ключевые вопросы темы*

1. Терминология и классификация в области аддитивных технологий.
2. Аддитивные технологии и быстрое прототипирование.
3. Аддитивные технологии и литейное производство.
4. Аддитивные технологии и порошковая металлургия.
5. Компьютерная томография для измерения и неразрушающего контроля литых и металлопорошковых изделий.

*Ключевые понятия:* аддитивная технология, прототипирование, трехмерная печать, металлопорошковые изделия, селективное лазерное сплавление, экструзионная печать, стереолитография.

*Литература:* [4, с. 20–57]

*Методические рекомендации:*

Технология «трехмерной печати» появилась в конце 80-х гг. XX в. Пионером в этой области являлась компания 3D Systems, которая разработала первую коммерческую стереолитографическую машину – SLA – Stereolithography Apparatus (1986 г). До середины 90-х гг. она использовалась главным образом в научно-исследовательской и опытно-конструкторской деятельности, связанной с оборонной промышленностью. Первые лазерные машины – сначала стереолитографические (SLA-машины), затем порошковые (SLS-машины), были чрезмерно дороги, выбор модельных материалов – весьма скромный. Широкое распространение цифровых технологий в области проектирования (CAD), моделирования и расчетов (CAE) и механообработки (CAM) стимулировало взрывной характер развития технологий 3D-печати, и в настоящее время крайне сложно указать область материального производства, где в той или иной степени не использовались бы 3D-принтеры.

Цифровые 3D-технологии открыли уникальные возможности воспроизведения сложнейших пространственных форм, объектов и инженерных конструкций, механизмов. В то же время 3D-технологии – это тест на интеллектуальный уровень науки, образования, а также профессиональной квалификации трудовых ресурсов и индустриального развития».

Сначала эти технологии назывались «технологиями быстрого прототипирования» (от английского Rapid Prototyping), однако термин RP-технологии довольно быстро устарел и в настоящее время не отражает в полной мере реальной сути технологии. Методами «быстрого прототипирования» сейчас изготавливаются вполне коммерческие, товарные изделия, которые уже нельзя назвать прототипами – имплантаты и эндопротезы, инструменты и литейные формы, детали самолетов и спутников и многое другое.

Аддитивные технологии (от английского Additive Fabrication) – обобщенное название технологий, предполагающих изготовление изделия по данным

цифровой модели (или САD-модели) методом послойного добавления (add, англ. – добавлять, отсюда и название) материала.

Получение изделия происходит послойно, шаг за шагом путем формирования (тем или иным способом) слоя материала, отверждения или фиксации этого слоя в соответствии с конфигурацией сечения САD-модели и соединения каждого последующего слоя с предыдущим.

Послойный синтез предполагает проведение построения в среде инертного газа с охлаждением определенных зон, с местной усадкой металла, с захватом молекул газа окружающей среды (азота или аргона), с образованием дефектов, вызванных работой лазера, неоднородностью модельного материала и др.

Модельные (строительные) материалы могут быть жидкими (фотополимерные смолы, воски и др.), сыпучими (пески, порошковые полимеры, металлопорошковые композиции), в виде тонких листов (полимерные пленки, листы бумаги и др.), а также в виде полимерной нити или металлической проволоки, расплавляемой непосредственно перед формированием слоя построения.

При использовании аддитивных технологий все стадии реализации проекта от идеи до материализации (в любом виде – в промежуточном или в виде готовой продукции) находятся в «дружественной» технологической среде, в единой технологической цепи, где каждая технологическая операция также выполняется в цифровой САD/САM/САЕ-системе. Практически это означает реальный переход к «безбумажным» технологиям, когда для изготовления детали традиционной бумажной чертежной документации в принципе не требуется.

#### *Вопросы для контроля*

1. Принцип работы 3D-принтера.
2. Физические принципы производства металлопорошковых изделий.
3. Физические принципы лазерного селективного сплавления.
4. Каким образом формируется деталь при фотополимерной печати?
5. Основные методы расчета на прочность пластмассовых деталей.
6. Перечислите основные виды материалов, применяемых в аддитивных технологиях производства деталей.
7. Какие факторы следует учитывать при производстве деталей на основе аддитивных технологий?

## **2 МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДГОТОВКЕ К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ**

Практические занятия проводятся с целью формирования у студентов умений и навыков проектирования рациональных конструкций оборудования с применением перспективных физических методов.

Практические занятия по дисциплине «Автоматизированное проектирование и производство деталей на основе перспективных физических методов»

являются важной составной частью учебного процесса изучаемого курса, поскольку помогают лучшему усвоению курса дисциплины, закреплению знаний.

В ходе самостоятельной подготовки студентов к практическому занятию необходимо не только воспользоваться литературой, рекомендованной преподавателем, но и проявить самостоятельность в отыскании новых источников, связанных с темой практического занятия.

Контрольные вопросы для самостоятельной работы зависят от конкретно выбранной машины и факторов окружения. Вопросы о функциях машины, факторах окружения, состоянии отрасли, потенциальных потребителях изделия, техническом уровне аналогов и прототипов и выдаются каждому студенту индивидуально.

Тематический план практических (ПЗ) занятий представлен в таблице 3.

Таблица 3 – Объем (трудоемкость освоения) и структура ПЗ

Номер темы	Содержание практического (семинарского) занятия
1	Разработка сценария проблемы на стадии предпроектных исследований изделий машиностроения
2	Разработка «дерева целей» на стадии предпроектных исследований изделий машиностроения
3	Разработка матрицы «цель-средство» на стадии предпроектных исследований изделий машиностроения
4	Разработка проекта технического задания на изделие машиностроения
5	Разработка проекта технического предложения на изделие машиностроения с синтезом нового технического решения
6	Разработка технического описания изобретения на устройство

### **Практическая работа № 1: Разработка сценария проблемы на стадии предпроектных исследований изделий машиностроения**

*Цель:* получение практических умений и навыков разработки сценария проблемы на стадии предпроектных исследований изделий машиностроения.

*Задание по практической работе:* разработать сценарий проблемы при проектировании технологической машины.

*Примечание:* наименование и назначение машины определяется по согласованию студента с преподавателем.

*Контрольные вопросы:* зависят от конкретно выбранной машины и факторов окружения. Вопросы о функциях машины, факторах окружения, состоянии отрасли, потенциальных потребителях изделия, техническом уровне аналогов и прототипов.

### *Методические рекомендации:*

Поиск противоречий и определение потребности в создании новой техники начинается с разработки сценария проблемы. Сценарий представляет собой аналитический обзор, содержащий данные относительно проблемной ситуации, внутри которой протекают конкретные процессы, являющиеся объектом прогноза. Эти данные относятся к самым различным сторонам прогнозируемой научно-технической, социальной и экономической ситуации и включают в себя описание отдельных факторов или событий, оказывающих прямое или косвенное влияние на реализацию конкретного события.

Сценарий позволяет улучшить описание создаваемой техники, конкретизировать генеральные цели и условия развития изделия в процессе его жизненного цикла. Также сценарий позволяет выявить факторы непосредственного и косвенного окружения и сформулировать критерии для оценки вариантов изделия, которые будут получены на последующих этапах разработки.

При составлении сценария проблемы должна использоваться различная научно-техническая информация. Поиск и изучение литературы по заданному вопросу – первый этап самостоятельной работы студента над курсовым проектом. Успех курсового проектирования существенно зависит от глубокого и всестороннего анализа современного состояния технологии и техники по заданной теме, а также правильного выбора направления его развития.

Сначала студент пользуется информацией, содержащейся в учебниках по технологии и оборудованию и других учебных пособиях. Далее возникает необходимость изучать дополнительную литературу.

Студент должен находить нужные книги самостоятельно. Для этого рекомендуется использовать библиотечные электронные систематические и алфавитные каталоги. В библиотеке имеются также систематические предметные и библиографические указатели по различным отраслям знаний и отдельным темам.

Просмотр специальных отечественных и зарубежных журналов и сборников начинают с реферативных журналов по данной отрасли знаний. Журнальную статью возможно достаточно быстро отыскать по указателю статей, помещаемому в конце последнего номера журнала за каждый год издания. Полезными могут оказаться и библиографические сноски, ссылки и указатели в учебниках и монографиях, относящихся к разрабатываемой теме.

Очень важно использовать специальные исследования (монографии), статьи в сборниках научных трудов, каталоги и проспекты отечественных и зарубежных фирм, а также информационные материалы из сети Интернет.

Сформулировать факторы непосредственного и косвенного окружения изделия означает описать ситуацию, внутри которой будет происходить работа проектируемого объекта. К непосредственному окружению изделия относят внешнюю среду, в которой будет функционировать технический объект. К кос-

венному окружению относят факторы, которые определяются научно-технической, экономической и социальной ситуацией на момент разработки изделия.

Методика составления сценария строится на выявлении путей эволюции изделия в последовательности временных периодов его жизненного цикла и определении тех факторов (требований), которые могут изменить или остановить его развитие.

Требования к изделию сопровождают все стадии проектирования. На стадии предпроектных исследований их можно назвать пользовательскими, потому что составлять их должны главным образом потребители продукции. Заинтересованными сторонами, определяющими требование к продукции, могут быть люди или организации, имеющие определенное отношение к объекту проектирования. Одни из них влияют на объект и взаимодействуют с ним, на других влияет и воздействует объект. К заинтересованным сторонам можно отнести:

- руководство: люди, отвечающие за техническую политику в отрасли промышленности, за бюджет разработки, за бюджет организации, в которой объект будет использоваться;

- инвесторы: люди, приглашенные к финансированию или уже вложившие деньги в разработку объекта;

- заказчики или покупатели, которым придется непосредственно использовать объект;

- обслуживающий персонал, отвечающий за исправное состояние объекта;

- операторы, управляющие работой объекта;

- обучающий персонал, осуществляющий подготовку операторов;

- маркетинг и продавцы, играющие ключевую роль в определении возможностей объекта, особенно относящегося к серийной или массовой продукции;

- эксперты по области применения, знающие особенности условий работы проектируемого объекта;

- общественное мнение.

Пользовательские требования составляются в ходе маркетинговых исследований, представляются в виде описания без ограничений к форме. Тем не менее, они должны быть по возможности краткими, реалистичными, не содержать указаний на возможную реализацию.

Наиболее частые ошибки пользовательских требований следующие:

- уклон в сторону возможных технических решений;

- недостаточное внимание к реальным проблемам;

- отсутствие у заинтересованных сторон понимания ответственности за выдвигаемые ими требования.

Постоянные требования, подразумевающиеся практически всегда:

– максимально достижимый уровень эксплуатационных свойств: минимальные габариты, минимальная масса, минимальное потребление энергии, доступность и заменяемость всех элементов, имеющих ограниченный срок службы, оптимальная надежность;

– оптимальные эргономические показатели: простое, легкое и удобное обслуживание, защита от вредных побочных выходов (помех), таких, как шум, тепло, вибрация, выхлопные газы, пыль, минимальный вред окружающей среде;

– максимальный учет всех особенностей существующего производства: применение имеющихся материалов, стандартных деталей и документации, использование имеющегося оборудования и технологии;

– наилучшие эргономические показатели: минимальные издержки производства; минимальные эксплуатационные расходы.

Некоторые требования выступают как ограничения в выборе решений, диктуемые природой и обществом. Пользовательские требования определяются главным образом заказчиком или потребителями продукции.

В результате разработки сценария проблемы уточняется качественный и количественный состав связей создаваемого изделия с другими элементами внешней среды. Сопоставление и увязка прогнозов потребности разработки, изготовления, эксплуатации и утилизации изделия, содержащихся в сценарии, позволяет определить на основе уточненных связей требования к создаваемому объекту и составить описание граничных условий.

Таким образом, на этапе составления сценария формируются самые общие представления о проектируемом объекте, и поэтому взаимное влияние факторов можно не учитывать. Здесь, по существу, происходит лишь выявление признаков ситуации, причем следует начинать с самых простых и очевидных, переходя затем к более сложным и менее очевидным. Выявление факторов окружения подобно эмпатии (вживанию в роль). Проектировщик ставит себя в положение будущего технического устройства и осматривается. Вначале составляется лишь перечень факторов, а затем по ходу их описания могут быть вскрыты новые факторы окружения.

## **Практическая работа № 2: Разработка «дерева целей» на стадии предпроектных исследований изделий машиностроения**

*Цель:* получение практических умений и навыков разработки «дерева целей» на стадии предпроектных исследований изделий машиностроения.

*Задание по практической работе:* изучить методику разработки «дерева целей» в виде ориентированного графа.

*Методические рекомендации:*

Сценарий проблемы вскрывает множество факторов, определяющих дальнейшее направление поиска технического решения проектируемого изде-

лия. На основе сценария возможно сформулировать цели проектирования, исходя из различных сфер окружения.

На основании пользовательских требований разработчик должен составить цели проектирования. Цели проектирования вытекают из Пользовательских требований, но в отличие от них цели должны быть четким руководством к последующим действиям, поэтому не могут допускать противоречий. Помимо этого, предоставление целей проектирования должно давать возможность: однозначно идентифицировать каждую из них; классифицировать цели по важности; установить взаимосвязь целей.

Задача определения целей проектирования осложняется тем, что проектируемый объект должен отвечать требованиям не в настоящем времени, а в будущем. Необходимо учитывать, что за время разработки объекта могут произойти изменения в его окружении. Так, например, факторы научно-технической ситуации могут повлиять на выбор физических принципов действия машины. В социальной сфере могут измениться требования к форме изделий, определяемой модой, к эргономическим и экологическим показателям. Не остаются постоянными и экономические требования. В связи с этим определение целей исследовательского проектирования требует прогнозирования.

Для наглядного представления и систематизации целей проектирования используется граф целей, называемый «дерево целей». Все окружение разбивается на уровни в зависимости от их масштаба. На первом уровне помещается сфера, охватывающая интересы всего человечества. На втором – интересы государства. Далее размещаются сферы интересов отрасли, предприятия (заказчика), проектной организации (исполнителя), отдела, и, наконец, сфера личных интересов. На каждом уровне возникают свои цели, подчиненные целям более высокого уровня. Граф, вершины которого означают цели, а дуги – их отношения, и образует граф целей. Вершины его ориентированы относительно уровней сфер окружения. При составлении графа в каждом конкретном случае нужно, прежде всего, решить, начиная с какого уровня необходимо учитывать сферы окружения. Проектируемое изделие не всегда влияет на интересы государства, и тем более всего человечества, однако чрезмерное усечение уровней может оказать неучтенное воздействие в сферах более высокого уровня.

Построение «дерева целей» осуществляется по следующим правилам:

- иерархия входящих целей, подцелей и проблем;
- стабильность генеральных целей для рассматриваемого периода;
- каждый более низкий уровень «дерева целей» представляет конкретизацию проблем более высокого уровня;
- «дерево целей» строится в терминах задачи;
- формулировка каждой цели на любом уровне должна допускать количественную оценку степени достижения целей.

«Дерево целей» строится путем деления цели на подцели при переходе от одного уровня к другому. Такое деление производится до уровня, на котором подцели могут быть всесторонне и надежно оценены и будет накоплено необходимое количество информации для определения конкретных путей достижения целей более высокого порядка.

Разработку «дерева целей» сверху вниз ведут до таких первичных элементов, которые в системе «дерева» являются уже целями отдельных элементов надсистемы. Тем самым устанавливается главная цель функционирования изделия и гарантируется ее увязка с целями надсистемы.

Наибольший объем информации в «дереве целей» содержат элементы верхнего и самого нижнего уровней. Промежуточные цели служат лишь в качестве вспомогательного инструмента для упорядочивания информации, обеспечения полноты и других требований.

Разработка «дерева целей» позволяет конкретизировать и уточнить задачи патентно-информационных исследований и перейти к целенаправленному сбору информации об изделии, ее окружении и среде. Собранная информация используется для уточнения проблемы определения и анализа достигнутого в нашей стране и за рубежом технического уровня в области создания техники данного класса, определения текущих условий и областей применения.

### **Практическая работа № 3: Разработка матрицы «цель-средство» на стадии предпроектных исследований изделий машиностроения**

*Цель:* получение практических умений и навыков разработки матрицы «цель-средство» на стадии предпроектных исследований изделий машиностроения.

*Задание по практической работе:* разработать матрицу «цель-средство», синтезировать набор вариантов технических решений, выделить несколько вариантов, наиболее перспективных по критерию реализуемости.

*Методические рекомендации:*

Выбор направления проектирования изделия осуществляется с помощью построения матрицы «цель-средство» и выбора из нее существующих перспективных решений.

Из «дерева целей» в первый столбец данной матрицы заносятся задачи, решение которых необходимо для разработки изделия. В остальных столбцах матрицы, по результатам предварительных анализов и патентно-информационных исследований, указываются существующие общие технические решения, способные решить перечисленные задачи. По результатам оценки и сравнения перечня технических решений матрицы «цель-средство» выбираются перспективные варианты для формирования общего замысла разработки изделия.

Выявленные направления синтеза вариантов объекта проектирования вместе с определенными требованиями и граничными условиями позволяют

перейти к оценке значимости и целесообразности найденных направлений синтеза как путей достижения целей разработки, определить и выбрать лучшие из них. Необходимые для этого параметры, критерии и другую информацию получают при анализе «дерева целей» и сценария проблемы.

Проводить одновременную разработку всех полученных направлений не представляется возможным и целесообразным, так как проектировщик, как правило, располагает ограниченными ресурсами и часть найденных направлений может не отвечать выявленным требованиям и ограничениям. Выбор конкретных направлений синтеза вариантов изделия определяется вероятностью их успешной реализации, под которой понимается возможность создания в рамках этого направления к заданному сроку эффективного изделия. Это зависит от ряда следующих факторов:

- наличия научно-технического потенциала у данного направления;
- перспективности направления;
- наличия прогнозируемой эффективности при внедрении изделия, в случае реализации направления к заданному сроку.

Для уменьшения количества рассматриваемых вариантов на первом этапе используют методы предварительного отсева. С этой целью студент мотивированно разделяет все выявленные средства достижения подцелей на следующие группы:

- технически неприемлемые (несовместимые) варианты;
- малоперспективные варианты;
- приемлемые варианты;
- наиболее перспективные варианты.

Решения, попавшие в первые две группы, из дальнейшего рассмотрения исключаются. Из оставшихся получают технически совместимые, целесообразные и соответствующие цели разработки комбинации (цепочки или сети из альтернативных элементов).

Научно-технический потенциал направлений определяется наличием научного и технического задела, материальной базой, которой располагает организация-разработчик для реализации и внедрения изделия. Он может быть оценен экспертным путем и по наличию публикаций и изобретений в рамках направления. Перспективность направления определяется его ожидаемой эффективностью и продолжительностью потребности в результатах. Наличие ожидаемой эффективности может определяться экспертным путем, однако достоверные результаты могут быть получены при ее прогнозировании путем математического моделирования процессов функционирования объекта, создаваемой в рамках исследуемого направления. При этом используются гипотезы и прогнозы об условиях и режимах эксплуатации, что позволяет исследовать поведение объекта и изменение ее эффективности.

Возможность реализации направления к заданному сроку определяется экспертным путем, а в случае наличия необходимой информации о подобных разработках, выполнявшихся ранее, – методом экстраполяции тенденций. При этом учитывается сложность и степень новизны оцениваемого направления.

#### **Практическая работа № 4: Разработка проекта технического задания на изделие машиностроения**

*Цель:* получение практических умений и навыков разработки проекта технического задания на изделие машиностроения.

*Задание по практической работе:* разработать проект технического задания на технологическую машину.

*Методические рекомендации:*

Техническое задание (ТЗ) – важный конструкторский документ. Согласно ГОСТ Р 15.201-2000 ТЗ является исходным документом для разработки продукции и должно содержать технико-экономические требования к ней, определяющие потребительские свойства и эффективность ее применения. Важность ТЗ связана с тем, что оно закладывает основы будущих технических решений и, кроме того, является юридическим документом для рассмотрения разногласий между заказчиком и разработчиком.

Ранее в ГОСТ 15.001-73, учитывая важность ТЗ, определялись: основные требования к содержанию технического задания, порядок разработки, согласования и утверждения, порядок построения изложения и оформления ТЗ.

В ГОСТ 15.001-88 и в сменившем его ГОСТ Р 15.201-2000 требования к содержанию ТЗ значительно занижены. Более того, в качестве технического задания допускается использовать любой документ (контракт, протокол, эскиз). Главное, чтобы ТЗ, или заменяющий его документ, было согласовано с заказчиком и содержащиеся в нем требования к продукции не противоречили стандартам и нормативным документам органов, осуществляющих надзор за безопасностью, охраной здоровья и природы.

В соответствии с основными положениями ГОСТ Р 15.201-2000 ТЗ остается основой для выполнения опытно-конструкторских работ (ОКР), и ТЗ ориентирует разработчиков на выпуск продукции, удовлетворяющей потребности народного хозяйства, населения и экспорта.

Среди требований к продукции выделяются обязательные, установленные государственными стандартами и другими нормативными документами на основе законодательства Российской Федерации. Эти требования относятся к безопасности продукции, работ и услуг, окружающей среды, жизни, здоровья и имущества, технической и информационной совместимости, взаимозаменяемости продукции, единства методов контроля и единства маркировки, а также иные требования, установленные законодательством Российской Федерации.

Анализ ТЗ, выполненный в ряде проектных организаций, дал возможность выделить в них три вида информации: постоянную, исходную и переменную. Постоянная информация связана с конкретной областью техники, определяющей специализацию проектной организации. Она остается неизменной независимо от объекта проектирования. К ней относятся указания: на необходимость соблюдения действующих в данной области техники стандартов и норм, на порядок согласования, контроля и приемки. Технические задания на однотипную продукцию содержат, как правило, одинаковую структуру предложений внутри одноименных разделов. В общем объеме ТЗ на традиционную для проектной организации продукцию постоянная информация занимает больше половины общей информации.

Исходная информация для ТЗ определяется заявкой на разработку. Она может содержать технико-экономические требования к продукции, лимитную цену, объем потребности в продукции и другие данные. К исходной информации можно отнести и некоторые сведения, известные разработчику еще до составления ТЗ (наименование предприятия изготовителя, должность и фамилии лиц, согласующих и утверждающих ТЗ).

Переменная информация самым непосредственным образом связана с объектом проектирования. Она образуется в ходе преобразования исходной информации при выполнении рассмотренных выше процедур определения потребности в проектировании, выборе целей и признаков.

### **Практическая работа № 5: Разработка проекта технического предложения на изделие машиностроения с синтезом нового технического решения**

*Цель:* получение практических умений и навыков разработки проекта технического предложения на изделие машиностроения с синтезом нового технического решения

*Задание по практической работе:* разработать проект технического предложения на технологическую машину.

*Методические рекомендации:*

Техническое предложение – это совокупность конструкторских документов, разработанных на основе ТЗ и содержащих выбор вариантов возможных решений и отыскание среди них оптимального. Поиск вариантов технических решений выполняет инженер-конструктор. Однако уже на этой стадии целесообразно привлекать к работе над проектом инженеров-технологов и художников-конструкторов.

Технологи, участвуя вместе с конструкторами в выборе вариантов, заботятся о рациональном членении и компоновке будущей конструкции, лучших предпосылках для использования стандартных и унифицированных узлов, ти-

повых технологических процессов, ограничении номенклатуры конструктивных материалов.

Художник-конструктор формирует требования технической эстетики и эргономики, разрабатывает варианты художественно-конструкторского решения.

В техническом предложении отражаются результаты исследований по проверке патентной чистоты выбранного варианта технического решения, как в нашей стране, так и в зарубежных странах. В число обязательных документов технического предложения входят пояснительная записка и ведомость технического предложения. В зависимости от характера, назначения или условий производства объекта могут выполняться дополнительно: чертеж общего вида или габаритный чертеж, схемы, таблицы, расчеты, патентный формуляр.

Исходя из содержания технического предложения на стадии его разработки выделены три основные процедуры: поиск вариантов технических решений, выбор оптимального варианта и анализ принятого решения.

На входе процедуры поиска возможных технических решений должны быть варианты достижения поставленных целей – варианты проектируемого объекта. Этот этап проектирования в наибольшей степени носит творческий характер. Здесь проявляются способности конструктора к изобретательству. Как известно, к изобретательству наиболее склонны люди с хорошо развитым ассоциативным мышлением. Мозг такого человека находится в состоянии творческого поиска даже в те моменты, когда сам человек занят совершенно другим делом. Конструктор знает, что то или иное техническое решение может возникнуть в его сознании совершенно неожиданно. Разгадка механизма творчества – задача создания искусственного интеллекта. На заре технического творчества поиск конструктивного решения всецело относился к области искусства. В настоящее время этот процесс все ближе примыкает к науке. Использование систематизированных и обобщенных знаний в поиске технических решений – характерная черта современного проектирования. Знания нужны не для того, чтобы освободить человека от творчества, а для того, чтобы сделать его более целенаправленным. Стремление к сокращению сроков проектирования не позволяет надеяться на спонтанное озарение, его нужно стимулировать. Нередки случаи, когда наиболее удачный вариант технического решения возникал в конце разработки и уже не мог быть использован. Необходимо определенными приемами обеспечить появление наилучшего варианта на соответствующем этапе проектирования – этапе поиска возможных решений. Одним из таких приемов является многовариантность технического решения «Чем больше идей – тем лучше».

В эпоху научно-технической революции в техническом творчестве участвуют миллионы специалистов. Вероятность того, что той же самой проблемой, которая стоит перед конструктором, занимались или занимаются другие, весьма велика. В этих условиях становится необходимым прежде, чем приступить

к разработке вариантов, ознакомиться с тем, что уже в этом направлении сделано.

В области изобретательского дела бытует понятие «обычного проектирования», под которым понимается решение известной задачи для достижения известной цели, осуществляемое известными путями или способами с помощью известных средств – при обычном проектировании специалисту известны задача, цель, способ и средство решения. Специалисты в области изобретательского дела понимают под «обычным проектированием» проектирование нового образца внутри типоразмерного ряда. Действительно, в этом случае конструктор может воспользоваться известным конструктивным решением, примененным в базовом изделии. Однако практика показала, что, во-первых, унифицированные сборочные единицы составляют в изделиях внутри типоразмерного ряда не более 50 % от всех сборочных единиц, а во-вторых, любое количественное изменение того или иного параметра, особенно главного, в подавляющем большинстве случаев приводит к качественно новым техническим решениям если не для всего изделия, то, по крайней мере, для одного из его составляющих.

На практике разработка не всегда вся целиком может быть признана изобретением. Изобретение обычно скрыто в разработке, его надо уметь найти. Несомненно, цели изобретателя и проектировщика различны. Если первый стремится найти новое техническое решение, не всегда заботясь о возможности его реализации в настоящее время, то второй может положить в основу создаваемого изделия лишь то решение, которое определено сулит положительный эффект и может быть реализовано. Конечно, такое противоречие в целях не противопоставляет конструктора изобретателю. Профессии изобретателя нет. Изобретателем может быть человек любой профессии, в том числе и конструктор. Более того, конструктор, принимающий участие в разработке вариантов технического решения, невольно сталкивается с изобретательством.

Несмотря на то, что поиск технических решений при разработке вариантов изделия относится к сфере инженерного творчества, многие опытные конструкторы прибегают к определенным методам для систематизации своей работы.

Известные в настоящее время эвристические приемы и методы поиска технических решений по степени формализации делят на следующие три группы:

1. Неформализованные эвристические приемы и методы, состоящие из набора эвристик.
2. Частично формализованные методы, часть операций в которых описана в виде алгоритмов.
3. Полностью формализованные приемы и методы-алгоритмы.

Названные группы весьма отличаются по численности входящих в них приемов и методов. Наиболее многочисленна первая группа. Она включает как общие (инвариантные) методы, применимые к объектам любой техники, так

и частные, относящиеся к определенному классу технических систем и их элементов.

Полностью формализованные методы (алгоритмы) составляют самую малочисленную группу и относятся лишь к конкретным объектам техники. Однако с развитием методик проектирования и алгоритмизацией инженерных расчетов все большее число методов переходит из первой группы во вторую и из второй в третью. Автоматизированное проектирование строится на второй группе методов, а автоматическое – на третьей.

### **Практическая работа № 6: Разработка технического описания изобретения на устройство**

*Цель:* получение практических умений и навыков разработки технического описания изобретения на устройство.

*Задание по практической работе:* новое техническое решение технологической машине на основе синтеза физических принципов действия нескольких вариантов устройств.

*Методические рекомендации:*

Поиск физических принципов действия новых изделий – одна из самых сложных и интересных задач инженерного творчества. При ее решении конструктор вынужден не только варьировать и оценивать конструктивные признаки, но и абстрагироваться на уровне физико-технических эффектов (ФТЭ). Это позволяет синтезировать физические принципы действия новых изделий.

Инженер обычно знает до 200 ФТЭ, а достаточно свободно использует не более 100, хотя в научно-технической литературе их описано более 3000. Для учебных целей курсового проектирования фонд ФТЭ содержит около 200 кратких качественных описаний (Приложение 15).

Физическим принципом действия (ФПД) изделия является структура совместимых и объединенных ФТЭ, обеспечивающих преобразование заданного начального входного воздействия в заданный конечный результат (выходной эффект). Для имеющегося фонда ФТЭ подразумевается три следующих вида совместимости:

– качественная совместимость по совпадению наименований входов и выходов;

– качественная совместимость по совпадению качественных характеристик входов и выходов;

– количественная совместимость по совпадению значений физических величин.

Работа по поиску допустимых физических принципов действия состоит в следующем. Составляется описание функции разрабатываемого изделия и его физической операции. Описание физической операции рекомендуется делать

с учетом синонимов в наименованиях «входов» и «выходов». Это выполняется быстрее и правильнее со словарем технических функций.

После формулировки вариантов физической операции по компонентам «входы» и «выходы» составляют таблицу, описывающую совпадающие или близкие по содержанию входы и выходы. Затем из фонда ФТЭ выбираются такие, которые обеспечивают подходящее преобразование «вход» → «выход». Если при этом выбран один ФТЭ, это означает – физический принцип действия изделия использует только один ФТЭ. Далее следует построить цепочку ФПД, попарно выбирая из фонда такие эффекты, которые обеспечивают качественный вид совместимости. Сначала выбирается цепочка из двух совместимых ФТЭ, затем проверяется возможность образования цепочки из трех ФТЭ, затем – из четырех, и, наконец, из пяти ФТЭ.

При числе ФТЭ более пяти – резко возрастает сложность методики, и существенно увеличивается число анализируемых промежуточных вариантов. При курсовом проектировании достаточно строить цепочки ФПД, содержащие до трех ФТЭ.

Таким образом, формируются варианты физического принципа действия изделия. Полученные цепочки ФПД следует проверить на количественную совместимость. Анализ совместимости выполняется для каждой пары стыкуемых ФТЭ. Количественная совместимость в основном оценивается по интервалам возможных значений входов и выходов. Если оказывается, что среди синтезированных вариантов нет ни одного допустимого, то выбирают ФПД с одной количественной несовместимостью и вводят дополнительные ФТЭ или готовые устройства (нормирующие приборы), обеспечивающие такую совместимость. При анализе цепочек ФПД на количественную совместимость и при устранении несовместимостей следует хорошо представлять сущность ФТЭ. Для этого следует изучать описания эффектов в фонде ФТЭ, а также обращаться к дополнительной литературе по физике, технической механике, автоматике, электронике, гидравлике, пневматике, реологии.

На основе вариантов ФПД, удовлетворяющих качественной и количественной совместимости ФТЭ, следует разработать изображение принципиальной схемы и дать ее описание. Для этого выбирают и эскизно изображают конструктивные элементы, соответствующие отдельным ФТЭ, определяют их взаимное расположение и компоновку. После этого описывают принцип работы полученного устройства (принципиальной схемы). Указывают, какие потоки энергии, вещества или сигналов проходят через конструктивные элементы; под действием каких ФТЭ, как и с помощью каких конструктивных элементов происходит преобразование этих потоков.

Физические принципы действия возможно синтезировать с использованием морфологической карты ФПД, заглавиями столбцов которой являются физические операции изделия.

Целесообразно сначала составить две морфологические карты. Первую заполняют выпускаемыми изделиями, реализующими соответствующие физические операции, и известными техническими решениями из патентного обзора. Вторую карту заполняют отдельными ФТЭ и цепочками ФТЭ, которые реализуют соответствующие физические операции изделия. Заполнение первой карты облегчается при наличии межотраслевого словаря технических функций. Для заполнения второй карты следует использовать фонд ФТЭ. Затем обе карты объединяются в одну, последовательно исключая дублирование между изделиями, техническими решениями, ФТЭ и ФПД.

На основе объединенной морфологической карты рекомендуется получить варианты упрощенных карт, которые зачастую приводят к неожиданным и эффективным ФПД и техническим решениям.

Разработка технического решения может проводиться на основании ранее выполненных практических работ № 1–5.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Основы автоматизированного проектирования технических систем в пищевой инженерии: учеб. пособие / Ю. А. Фатыхов [и др.] – Калининград: Изд-во ФГОУ ВПО “КГТУ”, 2010. – 124 с.
2. Агеев, О. В. Системы автоматизированного проектирования. Курсовое проектирование: учеб. пособие / О. В. Агеев, Ю. А. Фатыхов. – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВПО “КГТУ”, 2014. – 237 с.
3. Агеев, О. В. Системы автоматизированного проектирования: учеб. пособие / О. В. Агеев, Ю. А. Фатыхов. – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВПО “КГТУ”, 2014. – 148 с.
4. Аддитивные технологии в производстве изделий аэрокосмической техники: учебное пособие для вузов / А. Л. Галиновский, Е. С. Голубев, Н. В. Коберник, А. С. Филимонов; под общ. ред. А. Л. Галиновского. — Москва: Издательство Юрайт, 2022. – 115 с.
5. Федоренко, В. Ф. Перспективы применения аддитивных технологий при производстве и техническом сервисе сельскохозяйственной техники / В. Ф. Федоренко, И. Г. Голубев. – 2-е изд. – Москва: Издательство Юрайт, 2022. – 137 с.
6. Бобров, В. И. Технология отделочных процессов: учебник для вузов / В. И. Бобров. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва: Издательство Юрайт, 2022. – 625 с.
7. Норенков, И.П. Основы автоматизированного проектирования / И. П. Норенков. – Москва: Изд-во МГТУ им. Баумана, 2009. – 430с.
8. Технология обработки материалов: учеб. пособие для вузов / В. Б. Лившиц [и др.]; отв. ред. В. Б. Лившиц. – Москва: Издательство Юрайт, 2022. – 381 с.
8. Колошкина, И. Е. Автоматизация проектирования технологической документации: учебник и практикум для вузов / И. Е. Колошкина. – Москва: Издательство Юрайт, 2022. – 371 с.
9. Илюшечкин, В. М. Основы использования и проектирования баз данных: учебник для вузов / В. М. Илюшечкин. – Москва: Издательство Юрайт, 2022. – 213 с.
10. Григорьев, М. В. Проектирование информационных систем: учеб. пособие для вузов / М. В. Григорьев, И. И. Григорьева. – Москва: Издательство Юрайт, 2022. – 318 с.
11. Серова, В. Н. Фотохимия: учеб. пособие для вузов / В. Н. Серова. – Москва: Издательство Юрайт, 2022. – 157 с.
12. Шишмарёв, В. Ю. Организация и планирование автоматизированных производств: учебник для вузов / В. Ю. Шишмарёв. – 2-е изд. – Москва: Издательство Юрайт, 2022. – 318 с.

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО РЫБОЛОВСТВУ**

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ  
БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«КАЛИНИНГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт агроинженерии и пищевых систем  
Кафедра инжиниринга технологического оборудования

Контрольная работа  
допущена к защите:  
должность (звание), ученая степень  
\_\_\_\_\_ Фамилия И.О.  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 202\_\_ г.

Контрольная работа  
защищена  
должность (звание), ученая степень  
\_\_\_\_\_ Фамилия И.О.  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 202\_\_ г.

Контрольная работа

по дисциплине  
**АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ПРОИЗВОДСТВО ДЕТАЛЕЙ НА  
ОСНОВЕ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ**

Шифр студента \_\_\_\_\_  
Вариант № \_\_\_\_\_

Работу выполнил:  
студент гр. \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_ Фамилия И.О.  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 202\_\_ г.

Калининград - 20\_\_

Локальный электронный методический материал

Олег Вячеславович Агеев

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ПРОИЗВОДСТВО  
ДЕТАЛЕЙ НА ОСНОВЕ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ

Редактор Е. Билко

Уч.-изд. л. 2,9. Печ. л. 2,5

Федеральное государственное  
бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Калининградский государственный технический университет»,  
236022, Калининград, Советский проспект, 1