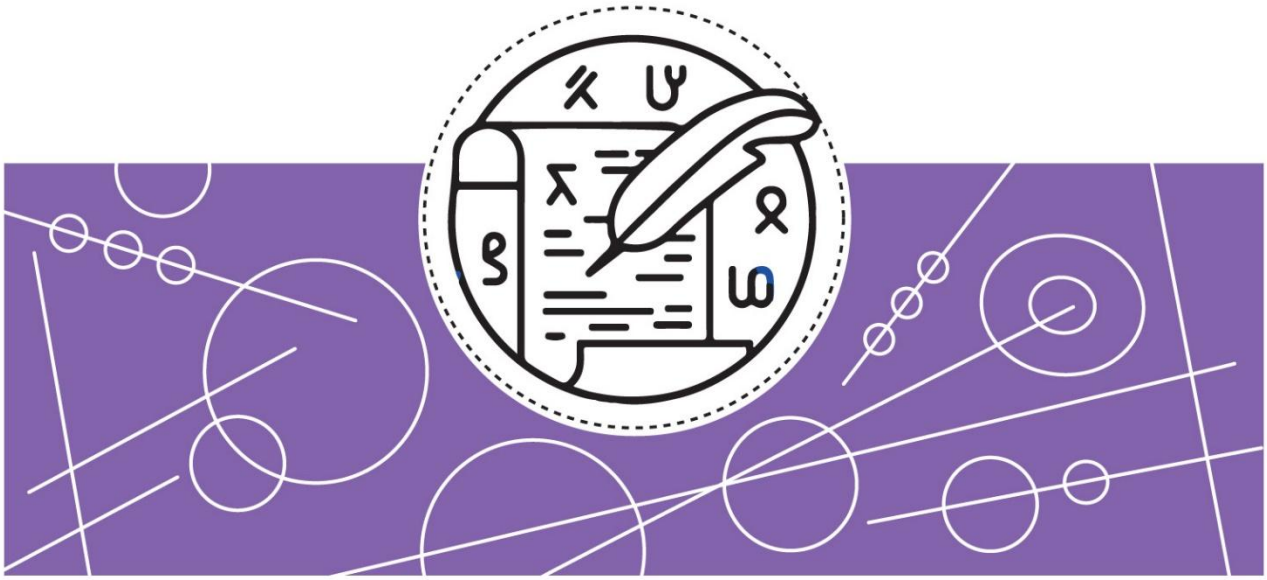
ИТМО

В.А. Пронин, Д.В. Шляховецкий,
В.А. Цветков, П.А. Колодийчук

ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ



САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2026

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

В.А. Пронин, Д.В. Шляховецкий,
В.А. Цветков, П.А. Колодийчук

ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ

РЕКОМЕНДОВАНО К ИСПОЛЬЗОВАНИЮ В УНИВЕРСИТЕТЕ ИТМО
по направлению подготовки (специальности)
16.04.03 Холодильная, криогенная техника и системы жизнеобеспечения
в качестве учебного пособия для реализации основных профессиональных образовательных программ высшего образования магистратуры

Санкт-Петербург

2026

УДК 62-1
ББК 30
Пронин В.А., Шляховецкий Д.В., Цветков В.А., Колодийчук П.А. Основные этапы проектирования технических систем: Учебно-методическое пособие. – СПб: Университет ИТМО, 2026. – 149 с.

Рецензент: Сулин Александр Борисович, доктор технических наук, профессор (квалификационная категория "ординарный профессор") образовательного центра "Энергоэффективные инженерные системы", Университета ИТМО.

Учебно-методическое пособие рассматривает проектирование технических систем в контексте системного анализа. Состоит из четырёх блоков, тематически отражающих: основы системных исследований и системного анализа; характеристики и требования к техническим системам (включая надёжность, безопасность, экологичность и др.); этапы и методики проектирования – от технического задания до реализации проекта; оформление документации и проверка соответствия спроектированной системы законам развития технических систем. Предназначено для студентов инженерных специальностей и специалистов в области проектирования.

ИТМО (Санкт-Петербург) — национальный исследовательский университет, научно-образовательная корпорация. Альма-матер победителей международных соревнований по программированию. Приоритетные направления: IT и искусственный интеллект, фотоника, робототехника, квантовые коммуникации, трансляционная медицина, Life Sciences, Art&Science, Science Communication.
Лидер федеральной программы «Приоритет-2030», в рамках которой реализовывается программа «Университет открытого кода». С 2022 ИТМО работает в рамках новой модели развития — научно-образовательной корпорации. В ее основе академическая свобода, поддержка начинаний студентов и сотрудников, распределенная система управления, приверженность открытому коду, бизнес-подходы к организации работы. Образование в университете основано на выборе индивидуальной траектории для каждого студента.
ИТМО пять лет подряд — в сотне лучших в области Automation & Control (кибернетика) Шанхайского рейтинга. По версии SuperJob занимает первое место в Петербурге и второе в России по уровню зарплат выпускников в сфере IT. Университет в топе международных рейтингов среди российских вузов. Входит в топ-5 российских университетов по качеству приема на бюджетные места. Рекордсмен по поступлению олимпиадников в Петербурге. С 2019 года ИТМО самостоятельно присуждает ученые степени кандидата и доктора наук.

© Университет ИТМО, 2026
© Пронин В.А., Шляховецкий Д.В., Цветков В.А., Колодийчук П.А., 2026

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ……..5
Раздел 1. СИСТЕМНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ…....8
1.1.Краткая историческая справка ……....8
1.2 Основные положения……...12
1.3. Общие положения системного анализа применительно к проектированию технических систем……...13
1.4. Оценка влияния вариативности целей и критериев на выбор псевдооптимального решения……..16
Вопросы для самоконтроля по разделу 1……19
Раздел 2. ТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ КАК ОБЪЕКТЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ……20
2.1. Общие требования к техническим системам как объектам проектирования……..20
2.2. Виды технических систем.....23
2.2.1 Состав машинного агрегата……..24
2.3. Виды параметров технических систем.....33
2.3.1 Номинальный и действительный параметры……33
2.3.2 Номинальный и предельный размеры……34
2.4. Требования, предъявляемые к проектируемым системам……...35
2.4.1. Требования производителя……38
2.4.2. Требования потребителя……42
2.4.3. Проектные и производственные требования……44
2.4.3.1. Техническое регулирование. Технические регламенты. Стандартизация……..44
2.4.3.2. Унификация……...48
2.4.3.3. Преемственность……...51
2.4.3.4. Технологичность……...52
2.4.3.5. Транспортабельность.....55
2.4.3.6. Сохраняемость……..56
2.4.3.7. Функциональные требования……..57
2.4.3.8. Надежность……....58
2.4.3.9. Эргономичность……64
2.4.3.10. Безопасность……66
2.4.3.11. Экологичность……71
2.4.3.12. Эстетичность……...72
Вопросы для самоконтроля по разделу 2……73
Раздел 3. ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ……76
3.1. Стадии и этапы проектирования……76
3.2. Структура проектной деятельности……..82
3.3. Принципы построения технического задания……..84
3.3.1. Начальные сведения о задаче……..84

3.3.2. Содержание технического задания…….87
3.4. Составление технического задания……...89
3.4.1. Анализ исходного задания……..89
3.4.2. Составление списка требований…….90
3.4.3. Формы представления технического задания……94
3.5. Методики реализации содержания технического задания……97
3.5.1. Обеспечение патентной чистоты и преемственности изделия……97
3.5.2. Компонование.....99
3.5.3. Проведение расчетных операций……100
3.5.4. Организация завершения проектирования……..104
3.5.5. Организация процесса проектирования изделия сложной структуры…..104
3.5.6. Организация завершения циклов итерации проектирования…….107
Вопросы для самоконтроля по разделу 3……...108
4. ЗАВЕРШАЮЩИЕ ЭТАПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ……...110
4.1. Принципы составления документов……110
4.2. Автоматизация оформления документации……...111
4.3. Виды документации……..112
4.3.1. Графическая документация……...112
4.3.2. Электронная документация……...114
4.3.3. Конструкторская документация……...117
4.3.3.1. Текстовая конструкторская документация……...118
4.3.3.2. Графическая конструкторская документация……..124
4.4. Научно-исследовательский отчет……134
4.5. Проверка соответствия спроектированной системы законам развития технических систем……135
Вопросы для самоконтроля по разделу 4……..139
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ……...141

ВВЕДЕНИЕ

Инженерная практика является одной из стадий созидательной деятельности людей, и вся история инженерной деятельности связана с освоением методов созидательного использования закона причинно-следственной связи. Это объясняет два очень важных момента.

Инженерная практика всегда была связана с созданием систем, под которыми люди, чаще всего не осознавая этого, понимали и понимают структуры, позволяющие концентрировать усилия для достижения цели. Термин «система» употребляется тогда, когда рассматривается что-то упорядоченное, организованное в соответствие с критерием, по которому компоненты системы собраны, упорядочены, организованы. Т.е. системный подход является органическим свойством инженерной практики. Система – это конкретно-аналитическое понятие, характеризующее целое в инженерной практике [1].

Ученый-экспериментатор исследует объективно существующие законы природы и оперирует с идеализированными представлениями о природных объектах. Деятельность инженера (от латинского слова «ingenium» – «способность, изобретательность») связана с разработкой, изготовлением и эксплуатацией экспериментальных устройств для обоснования и подтверждения научных представлений. Очень образно это отметил известный ученый Э. Крик в своем труде «Введение в инженерное дело»: «Ученый изучает то, что существует; а инженер создает то, чего еще никогда не было» [2]. Также это отмечают и современные ученые, например, Э.М. Хелменстайн, в своей статье [3]: «Учёные создают теории, а инженеры воплощают их в жизнь. Они дополняют друг друга и часто работают вместе: учёные говорят инженерам, что нужно сделать, а инженеры сообщают учёным, каким требованиям не соответствует то, что нужно сделать. Они действительно разные, но работают очень слаженно».

Таким образом, назначение технической деятельности – непосредственно задать и организовать изготовление системы, и тогда цель инженерной деятельности – сначала определить материальные условия и искусственные средства, влияющие на природу в нужном направлении, заставляющие ее функционировать так, как это нужно для человека. и потом, на основе полученных знаний, задать требования к этим условиям и средствам, а также указать способы и последовательность их обеспечения и изготовления [4]. Тогда определится задача инженерного проектирования – «...разработать, при некоторых ограничениях, обусловленных способом решения, элемент, систему или процесс, обеспечивающие оптимальное выполнение задачи, при некоторых ограничениях, налагаемых на решение» (Дж. Диксон, «Проектирование систем») [5].

Данная рукопись является дополненным и расширенным изданием работы Пронина В. А. и Шляховецкого Д. В. «Основные этапы проектирования технических систем» (СПб.: «Невская палитра», 2007. — 81 с.) [6], которое было подготовлено д.т.н., проф. Прониным В.А. и к.т.н. Шляховецким Д.В. на кафедре

«Детали машин и основы инженерного проектирования» Санкт-Петербургского государственного технического университета низкотемпературных и пищевых технологий.

Первоначальной версии издания около 19 лет. Несмотря на то, что последовательность изложения информации и базовые принципы представляемого материала остались те же, данный вариант учебно-методического пособия утратил свою актуальность. Устарела используемая нормативная литература, некоторые методы и этапы проектирования в части подготовки конструкторской документации и проведения расчетных операций. Не в полной мере были раскрыты проектные и производственные требования к техническим системам. Отсутствовал иллюстративный материал.

В обновленной версии учебно-методического выполнено следующее:

- Во введении обозначена актуальность изучаемой тематики, представлена целевая аудитория, для которой предназначено учебно-методическое пособие;

- В разделе 1. «Системные исследования технической системы» приведены современные примеры подхода системного анализа в области холодильной техники, предложенные исследователями ОЦ «ЭИС» Университета ИТМО.

- В разделе 2. «Технические системы как объект проектирования» приведены примеры человеко-машинных систем в холодильной индустрии; в развернутом виде приведены примеры видов технических систем, их состав, классификация и структура изделий по конструктивно-функциональным признакам и пр.; актуализирована информация о требованиях, предъявляемых к проектируемым системам; в п. 2.4.3.1. Стандартизация добавлен материал о техническом регулировании и технических регламентах; добавлены некоторые нормативные документы в области безопасности объектов холодильной индустрии с их трактовкой.

- В разделе 3. «Основные этапы проектирования» в полной мере раскрыто структурное представление об этапах проектирования; добавлена информация о стадиях разработки конструкторской документации, приведено соответствие конструкторских документов и стадий разработки; расширен п. 3.3.1 Начальные сведения о задаче, приведены примеры; актуализирован п. 3.5.1 Обеспечение патентной чистоты и преемственности изделия, приведены примеры.

- В разделе 4. «Завершающие этапы проектирования технических систем» исключен п.4.3.2 Компьютерная документация как утративший свою актуальность, заменен на п.4.3.2 Электронная документация, с добавлением актуального материала по теме; п.4.3.3 Конструкторская документация переработан и дополнен.

- В целом по всему тексту рукописи добавлен актуальный иллюстративный материал, актуализированы и добавлены ссылки на нормативную документацию, после каждого раздела сформирован список вопросов для самопроверки, расширен список литературы.

Пособие предназначено для студентов магистратуры, обучающихся по направлению подготовки 16.04.03 Холодильная, криогенная техника и системы жизнеобеспечения. Методические указания разработаны таким образом, чтобы у обучающегося была возможность освоения этапов проектирования технических систем. Приведены краткие теоретические выкладки, последовательность процессов проектирования технических систем, иллюстративный материал, а также ссылки на необходимые ГОСТы и иную нормативную документацию. Пособие будет полезным к использованию в рамках учебной дисциплины «Проектирование инженерных систем» в тематическом разделе «Принципы и методы проектирования» при аудиторной работе.

В результате работы с пособием обучающиеся получат знания о:

1) отечественной нормативной базе в области научных знаний в области технических систем;
2) организации и проведении исследований в области инженерных систем;
3) классификации элементов технических систем;
4) теоретических основах функционирования технических систем, экологических требованиях и др.

Освоят умения анализировать научную и техническую литературу, выявлять назначение инженерных процессов в устройствах различного назначения и выполнять применительно к ним технические расчеты.

Сформируют навыки расчета и проектирования технических систем.

1. СИСТЕМНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

1.1Краткая историческая справка

Инженерную практику в обычном понимании можно охарактеризовать как одну из сторон деятельности человека, связанную с созданием (проектированием, конструированием, изготовлением) и эксплуатацией технических средств, служащих достижению поставленной цели [1]. Такое понимание основано на длительном историческом опыте человечества.

Анализ сущности инженерной практики и изменения ее конкретно-исторического содержания показывает следующее.

В начале 19 века владелец одного из первых машиностроительных заводов Генри Модсли, будучи механиком-самоучкой, изобрел суппорт токарного станка, причем одновременно он же сам разрабатывал новую конструкцию изделия, технологическое оборудование и технологию изготовления суппорта.

С развитием экспериментального естествознания, в 18-19 веках инженерная профессия превращается в массовую, и возникает необходимость в систематическом научном образовании инженеров. Появление высших технических школ знаменует важный этап в развитии инженерной деятельности. Одной из первых таких школ была Парижская политехническая школа, основанная в 1794 г., где сознательно ставился вопрос систематической научной подготовки будущих инженеров. Она стала образцом для организации высших технических учебных заведений, в том числе и в России. С самого начала эти учреждения начали выполнять не только учебные, но и исследовательские функции в сфере инженерной деятельности, чем способствовали развитию технических наук. Инженерное образование с тех пор стало играть существенную роль в развитии техники.

К началу 20-го столетия инженерная деятельность уже включала сложный комплекс различных видов деятельности (изобретательская, конструкторская, проектировочная, технологическая и т.п.), и обслуживала разнообразные области, техники (машиностроение, электротехнику, химическую технологию и т.д.) [7].

Проектирование как особый вид инженерной деятельности формируется в начале 20-го столетия и связано первоначально с деятельностью чертежников, необходимостью особого (точного) графического изображения замысла инженера для его передачи исполнителям на производстве. Однако постепенно эта деятельность связывается с научно-техническими расчетами на чертеже основных параметров будущей технической системы, ее предварительным исследованием [4].

Разработка объектов, предполагающая их последующее создание, называется проектированием. Слово «проект» (projectus) – латинского происхождения и переводится как «брошенный вперед».

Термин «проектирование» связан не только с техническими объектами (возможно, например, социальное проектирование). Существует много

определений слова «проектирование». Но чаще всего под этим термином понимают практическую деятельность, направленную на удовлетворение потребностей общества, конечным итогом которой является комплект документации, предназначенной для создания, эксплуатации, ремонта и ликвидации технического объекта, а также для проверки или воспроизведения промежуточных и конечных решений, на основе которых был разработан данный объект [8].

В западноевропейских странах проектирование технических систем часто называют «инженерным» (engineering design).

С развитием массового производства, для того чтобы изделие попало в промышленность, возникает необходимость его специальной проектно-конструкторской подготовки. Внутри процесса проектирования часто выделяют процесс конструирования. Конструирование – деятельность по созданию материального образа разрабатываемого объекта. Ей свойственна работа с физическими моделями и их графическими изображениями. Эти модели и изображения, а также и реальные механические объекты называют конструкциями. Таким образом, конструирование представляет собой разработку конструкции технической системы, которая затем материализуется в процессе ее изготовления на производстве. Конструкция технической системы представляет собой определенным образом связанные стандартные элементы, выпускаемые промышленностью или изобретенные заново, и является общей для целого класса изделий производства [4].

Результат конструкторской деятельности должен быть обязательно материализован в виде опытного образца, с помощью которого уточняются расчеты, приводимые в проекте, и конструктивно-технические характеристики проектируемой технической системы. Продукт проектировочной деятельности, в отличие от конструкторской, выражается в особой знаковой форме – в виде текстов, чертежей, графиков, расчетов, электронных моделей и т.д. [4].

Применение вычислительной техники и современных технологий позволяет автоматизировать проектирование и изготовление и, одновременно, расширить творческие способности человека, расширить его возможности в области инженерных исследований. Последние, в отличие от теоретических исследований в технических науках, непосредственно составляют инженерную деятельность и осуществляются в сравнительно короткие сроки. Они включают в себя предпроектное обследование, научное обоснование разработки, анализ возможности использования уже полученных научных данных для конкретных инженерных расчетов, характеристику эффективности разработки, анализ необходимости проведения недостающих научных исследований и т.д. [9, 10].

Инженерные исследования проводятся в сфере инженерной практики и направлены на конкретизацию имеющихся научных знаний применительно к определенной инженерной задаче. Результаты этих исследований находят свое применение, прежде всего, в сфере инженерного проектирования.

В процессе функционирования и развития инженерной деятельности в ней происходит накопление конструктивно-технических и технологических знаний, которые представляют собой эвристические методы и приемы, разработанные в самой инженерной практике. В процессе дальнейшего прогрессивного развития инженерной деятельности эти знания становятся предметом обобщения в науке [10].

В настоящее время существует множество областей технической науки, относящихся к различным сферам инженерной деятельности. Однако области технической науки и соответствующие им сферы инженерной деятельности не тождественны. В технических науках развиты особые теоретические принципы, построены идеальные специфические объекты, введены научные законы, разработан оригинальный математический и понятийный аппарат. Технические науки удовлетворяют сегодня всем основным критериям выделения научной дисциплины.

В то же время следует помнить, что технические науки достаточно четко ориентированы на решение инженерных задач и имеют вполне определенную специфику. Важное место в технических науках занимают описания расчетов и различные методические рекомендации. Главная цель технических наук – выработка практико-методических рекомендаций по применению научных знаний, полученных теоретическим путем (в сфере технической науки – технической теории) в инженерной практике. Специфика технической науки определяется необходимостью использования ее результатов не столько для объяснения естественных процессов, сколько для конструирования технических систем. Эти результаты обобщены, как правило, инженерными исследованиями, проводимыми в рамках того или иного вида конкретной инженерной деятельности.

С появлением и развитием технических наук изменилась и сама инженерная деятельность. В ней постепенно выделились новые направления, тесно связанные с проработкой общей идеи, замысла создаваемой системы, изделия, сооружения, устройства и, прежде всего, проектирование.

В инженерном проектировании следует различать «внутреннее» и «внешнее» проектирование. Первое связано с созданием рабочих чертежей (технического и рабочего проектов), которые служат основными документами для изготовления технической системы на производстве; второе – направлено на проработку общей идеи системы, ее исследование с помощью теоретических средств, разработанных в соответствующей технической науке. В современной инженерной практике причинно-следственная связь, обусловливающая преобразование исходной ситуации в конечную, связанную с достижением цели созидательной деятельности, стала интегративной [8].

Концентрация увеличившейся энергетической мощи в «ключевой» причинно-следственной связи становилась гибельной для создаваемого изделия. Назрела необходимость поиска и интеграции в ходе разработки различных

причин, позволяющих обеспечить требуемые характеристики создаваемой техники [1].

Характерно, что для проектировочной деятельности исходным является социальный заказ, т.е. потребность в создании определенных объектов, вызванная либо «разрывами» в практике их изготовления, либо конкуренцией, либо потребностями развивающейся социальной практики и т.п. Как показывает опыт преуспевающих предприятий и фирм, высокая эффективность результатов разработок достигается лишь на основе совместного практического использования знаний фундаментальных, технических и социально-экономических наук, подчинение всей деятельности удовлетворению интересов, прежде всего, человека (покупателя, производителя, разработчика) [4, 8].

В жизни современного общества инженерная деятельность играет все возрастающую роль. Проблемы практического использования научных знаний, повышения эффективности научных исследований и разработок выдвигают сегодня инженерную деятельность на передний край экономики. В настоящее время технические вузы готовят инженеров различного профиля для самых разных областей народного хозяйства. Развитие профессионального сознания инженеров предполагает осознание возможностей, границ и сущности своей специальности не только в узком смысле этого слова, но и в смысле осознания инженерной деятельности вообще, ее целей и задач [11].

Изначальная цель инженерной деятельности – служить человеку, удовлетворению его потребностей и нужд. Однако современная техника часто употребляется во вред человеку и даже человечеству в целом. Это относится не только к использованию техники для целенаправленного уничтожения людей, но также к повседневной эксплуатации инженерно-технических устройств. Если инженер и проектировщик не предусмотрели того, чтобы, наряду с четкими техническими требованиями эксплуатации, должны быть соблюдены также и требования безопасного, бесшумного, удобного, экологичного применения инженерных устройств, то из средства служения людям техника может стать враждебной человеку и даже подвергнуть опасности само его существование на Земле. Эта особенность современной ситуации выдвигает на первый план проблему этики и социальной ответственности инженера и проектировщика перед обществом и отдельными людьми.

Однако сегодня человечество находится в принципиально новой ситуации, когда невнимание к проблемам последствий внедрения новой техники и технологии может привести к необратимым негативным результатам для всей цивилизации и земной биосферы. Кроме того, общество находится на той стадии научно-технического развития, когда такие последствия возможно и необходимо, хотя бы частично, предусмотреть и минимизировать уже на ранних стадиях разработки новой техники. Перед лицом вполне реальной экологической катастрофы, могущей быть результатом технологической деятельности человечества, необходимо переосмысление самого представления о научно-техническом и социально-экономическом прогрессе [12].

Общество с развитой рыночной экономикой требует от инженера не только технических и конструктивных параметров будущего изделия, но и большей ориентации на вопросы маркетинга и сбыта, учета социально-экономических факторов и психологии потребителя [4].

Таким образом, современный этап развития инженерной деятельности характеризуют системный подход к решению сложных научно-технических задач, обращение и использование всего комплекса технических, социальных и естественных дисциплин.

1.2Основные положения

Задача инженера – обеспечить решением проблему, которая раньше не решалась или была решена, но не оптимальным на сегодняшний день способом. При этом число решений и способов перехода к новым решениям, в общем, не ограниченно и, в принципе, любое решение может быть реализовано. Отличие инженерного решения поставленной задачи от задачи математики, физики и других областей науки состоит в неопределенности при последовательности решения. В науке ученый, исследующий задачу, заведомо знает природность изучаемого явления и исследует его взаимосвязи с окружающим миром. Наука выдвигает гипотезы, проводит математическую обработку и трактует полученные факты с заранее выбранной позиции, защищает принятые идеи и обоснования, используя законы математики, логики и психологии.

В инженерном проектировании исключается выдвижение гипотез, создание ложных идей и использование психологических методов для доказательства разработанного.

Потребности общества реализуются посредством выполнения системами определенных действий – функций, которые заранее заложены как в саму систему, так и в каждый ее элемент. Выполнение требуемой функции – главная цель и основа разработки технической системы. В то же время сама система служит материальным носителем функции, т. е. функция – первична, система – вторична и создается по причине невозможности иными, нематериальными средствами удовлетворить потребности людей. Так, автомобиль нужен для перевозки грузов и людей; его главная функция – перемещать что-то в пространстве, и он материализован вследствие нереальности перемещения предметов только усилием мысли [6].

Функция, которая отражает назначение системы и ради которой эта система создается, называется главной. Функция, без выполнения которой невозможно выполнение главной функции, называется основной или общей [8]. Создаваемый объект должен удовлетворять выбранной общей целевой функции, причем только после выявления этой функции производится ее расчленение на частные целевые функции и выявляется, являются ли частные функции независимыми или существуют зависимости между ними.

Выбор общецелевой функции – важнейший принцип оптимизационного структурного анализа, и основные трудности в его определении носят не математический, а прикладной характер.

Выбор функции должен осуществляться с обязательным вводом граничных условий и проведением оценки влияния частных целевых функций на общую целевую функцию. Сложность проведения анализа объективно обусловлена неоднозначностью подхода различных специалистов, социальных групп и технических направлений.

Основным при выборе общецелевой функции ставятся мера соответствия объекта своему назначению, либо экономическая эффективность объекта при выполнении функции назначения, либо, по договоренности, разумный компромисс с превалирующем влиянием соответствия одной из функций объекта.

1.3 Общие положения системного анализа применительно к проектированию технических систем

Системный анализ предусматривает собой синтетический метод, разрабатывающий способ исследования сложных систем при нечетко поставленных целях или «размытых» критериях. Сложность формализации системного анализа обусловлена объективно разностью факторов, характеризующих систему: технических, экологических, экономических, социальных и временных. Каждый из факторов может быть представлен в виде вектора, причем, как правило, эти векторы разнонаправлены, и могут находиться в разных областях пространства.

В области холодильной техники подход системного анализа предлагается авторами работ [13, 14], который позволяет обнаружить внутренние связи между элементами холодильной машины (ХМ) и идентифицировать их влияние на внешние характеристики бустера на примере спирального компрессора (СПК). В данном случае рационально рассмотреть и систематизировать возможные способы совершенствования спиральной технологии как залог повышения эффективности бустерных холодильных машин. При оценке работы СПК в составе бустерной холодильной машины, а точнее, в рамках транскритического цикла, его следует рассматривать по принципу «система в системе». Таким образом, для учёта характеристик компрессора в оптимизации параметров бустерной ХМ и идентификации пути совершенствования технологии следует сначала выделить их взаимосвязь, как показано на рис. 1.1, а затем рассмотреть компрессор как отдельную термодинамическую систему с определённым набором характеристик. Изучение элементов сложных систем требует системного подхода, а значит, должны быть рассмотрены все факторы и параметры системы, связанные с работой компрессора. Выражая физическую природу воздействия, фактор характеризует качественную сторону процесса, параметры количественную. На рис. 1.2. показано: X – группа наблюдаемых, но



Рис. 1.1. Параметры взаимодействия ХМ с внешней средой и взаимосвязь с параметрами и характеристиками СПК

нерегулируемых внешних факторов, воздействующих на объект (компрессор) – это температуры и давления всасывания, нагнетания $t_{вс}$, $t_{н}$, $P_{вс}$, $P_{н}$, массовый расход хладагента в цикле $G_{а}$ (кг/ч), а M – характеристика электросети. Группа факторов E – ненаблюдаемые, а, следовательно, нерегулируемые, такие как характер и термодинамика процесса течения сплошной среды, микродеформации конструктивных элементов компрессора в процессе работы.

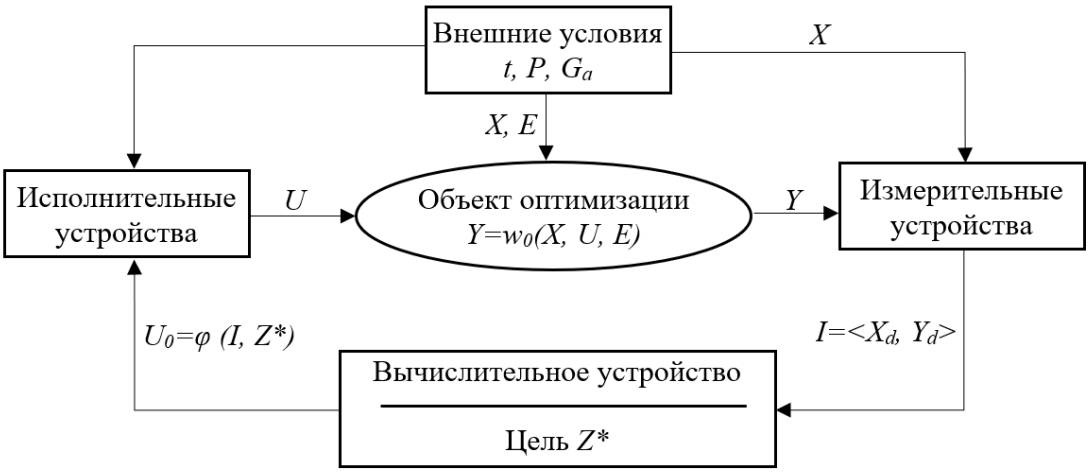


Рис. 1.2. Структура управления компрессором как элементом сложной технической системы

В области исследования и проектирования систем жизнеобеспечения зданий и сооружений известен подход системного анализа, разработанный авторами работ [15, 16] и именуемый «4Е-анализ» – энергия, эксергия, экономика и экология («4E analysis» – energy, exergy, economic and environmental) (рис. 1.3). В работе [17] автор для учёта энергетических, экологических и экономических показателей при анализе работы систем жизнеобеспечения предлагает использовать степень энерго- эколого- экономического совершенства систем жизнеобеспечения. Показатель, полученный в процессе оптимизации, предлагается назвать степенью энерго- эколого- экономического совершенства.

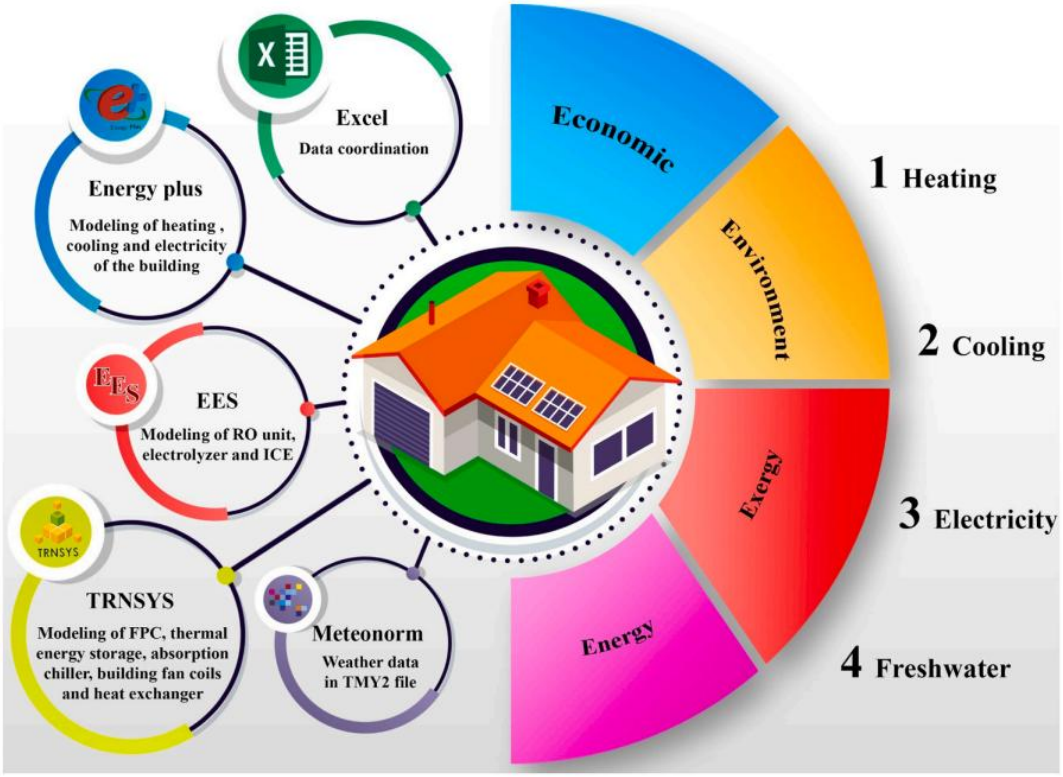


Рис. 1.3. 4E-анализ. Сочетание различных программ, используемых в данной системе [15]

Назначение системного анализа – выработать упорядоченную систему правил для выбора верного решения. Для решения поставленной задачи необходимы:

1) переход от достаточно общей формулировки задачи к ее конкретизации по отдельным составляющим;

2) установление взаимосвязи между переменными, учитывающими состояния системы;

3) качественное представление элементов системы и их взаимосвязи (чем можно управлять, а чем нельзя).

Системный анализ включает следующие этапы:

1. Отыскание возможных вариантов решения, хотя целью ставится проектирование только одного варианта.

2. Определение последствий использования возможных вариантов решения.

3. Поиск, обоснование и применение объективных утверждений, при этом не предусматривается, что выбранный критерий и выбранное решение являются единственными и не несут в себе неопределенность.

При проведении системного анализа необходимо учитывать следующие положения:

1. Процесс принятия решения должен осуществляться таким образом, чтобы используемые способы решения можно было оценить, улучшить или заменить на другие.

2. Критерий оценки, используемый в процессе принятия решения, на окончательном этапе должен быть четко сформулирован, и соотнесен с влиянием на экологию и социальную сферу.

3. Затраченные усилия, средства на выявления связи между причиной и следствием должны быть оправданы лучшим пониманием проблемы. Полученный результат не обязательно должен иметь позитивный характер.

Разновекторность, многоплановость поставленной задачи, как правило, четко не формируется, эффективность задачи исследуется на разумность и состоятельность, под которыми в технической системе понимают стоимость и время. И еще одна трудность в системном анализе связана с неопределенностью многих исходных данных. Для получения достаточно объективной постановки задачи (при нечеткой формулировке исходных данных) может быть рекомендована следующая последовательность операций:

1. Деление проблемы на группы по общности поставленных задач.

2. Формирование цели, задач и выбор критериев оценки ожидаемых результатов.

3. Анализ состояния проблемы и необходимость получения дополнительной информации.

4. Определение входных, выходных и управляющих переменных системы.

5. Перечисление возможных вариантов решения.

6. Формирование структуры проблемы в графическом виде и в виде модели системы средствами вычислительной техники.

7. Оценка будущих условий, включающих предсказания относительно изменений в технике.

1.4 Оценка влияния вариативности целей и критериев на выбор псевдооптимального решения

Системный анализ предусматривает собой синтетический метод, разрабатывающий способ исследования сложных систем при нечетко поставленных целях или «размытых» критериях. Сложность формализации системного анализа обусловлена объективно. Многовариантность факторов и показателей обуславливает выбор однозначной цели, при этом необходимо выяснить, нет ли смещения целей, наличия или отсутствия инженерного смысла в поставленной цели. Особо выявляется, существуют ли противоречия между намеченной целью и социальным законодательством, а также требованиями защиты окружающей среды.

Таким образом, выделенная цель и пути ее реализации должны характеризоваться открытостью, и применительно к технической системе «принцип черного ящика» запрещен.

В процессе анализа выявляются нежелательные, но объективно существующие потери, возможные к устранению потери, возможности ввода в систему новых элементов, которые позволят улучшить существующие показатели, а также возможно полностью изменить систему.

Проектируемая техническая система анализируется по количественным, качественным и функциональным показателям. При анализе имеет место противоречие между группами участниками:

1. Клиентом, который заказывает анализ, ставит проблему.

2. Исполнителем, который принимает решения и предоставляет свои варианты.

3. Экспертами, которые выносят оценку по представленным результатам.

Для снижения уровня противоречия между заинтересованными участниками должны быть предусмотрены следующие мероприятия:

- обеспечивается согласование используемой терминологии;
- формируется перечень наложенных и предполагаемых ограничений;
- оговаривается допустимый уровень консенсуса по цели.

После согласования указанных позиций, в письменном виде оформляются требования по оценке технической системы, включая обеспечение режимных параметров, устойчивость расходных показателей, наращивание или снижение затрат во времени. Возможность (допустимость) решения на базе принятых требований определяется как так называемый «псевдооптимальный» вариант.

При замене одного варианта решения на другой количественная оценка показателей изменяется и, если расхождения превышают 10-15%, то необходимо определить конкретные выводы, потери, выяснить суммарный эффект в результате реализации возможного нового варианта.

В процессе проектирования необходимость модификации конечной цели может заставить изменить условия задачи и пути его решения.

Технические решения не должны испытывать конъюнктурных политических давлений, и определяющим фактором является суммарный эффект. Под существенным эффектом понимается оценка результата исходя из экономического, экологического и социального эффектов.

Учитывая многогранность требований по достижению суммарного эффекта, существует прием структурного разбиения, сущность которого заключается в следующем: общая проблема разделяется на более мелкие, и системный анализ проводится с целью определить взаимодействия между этими частными проблемами. Однако при более глубоком разделении частных задач на подзадачи могут теряться отдельные связи, поэтому разделение прекращается, когда эти связи становятся мало определяемыми.

Целесообразность такого подхода мотивируется следующими причинами:

1. Изучение частных проблем может быть основано на предшествующем опыте, по аналогии или по допущению.

2. Решения каждой частной проблемы можно поручить отдельному исполнителю.

3. Могут быть определены качественные взаимосвязи между частными проблемами по принципу «что на что влияет».

4. При модификации отдельных частей проблем проще выявить необходимость дополнительной информации, чтобы более полно понять систему.

5. При достаточно большом объеме не исключена перегрузка памяти компьютера, или обработка результатов становится дорогостоящей операцией.

При анализе частных систем основное внимание обращается на объяснения и обоснования возможных и нетрадиционных связей; тривиальные или несущественные связи не доказываются и не рассматриваются. Выбор значимости связи определяется лицом, осуществляющим разработку задачи.

Поскольку всегда проблема тривиальности связана с интересами разработчика или заказчика, необходима внешняя экспертная оценка выбранного решения проблемы.

В процессе проектирования и изготовления последовательно повторяется постановка задачи, при этом допускается корректировка задачи и ее конечных целей.

Необходимость внесения изменений носит объективный характер по следующим причинам:

1. В начале проектирования имели место нехватка времени на доработку конструкции, недостаточная информация о прототипах и уровне развития машиностроения в смежных областях.

2. Влияние известных прототипов, неумение или нежелание проектировщика повышать свои знания.

3. Исходные данные, положенные в основу проектирования, как правило, собирались исходя из других задач и их решений, поэтому исходные данные требуют корректного отношения и, в ряде случаев, их обобщения или переработки.

4. Использованные данные собраны в разные время, в разных местах, разными людьми, при различных методах сбора данных.

5. Недостаточная точность имеющейся информации и наличие противоречивой информации. Это обусловлено вводом допущений предшествующими разработчиками и экспертами, по мнению которых «что-то можно было не принимать во внимание».

6. Возможность сопоставления с полученными данными зарубежного опыта.

7. Возможность соотнесения затрат ко времени проектирования и изготовления.

Помимо перечисленных выше факторов, возрастающее воздействие окружающей среды изменяет традиционные конструкции, схемы, результаты анализов и подходы. Поэтому следует помнить, что:

- использование считавшихся прежде эффективными решений может оказаться малоэффективным или неэффективным;

- наблюдается процесс реанимации считавшихся ранее неэффективными решений;

- вводятся методы снижения затрат на обслуживание путём использования элементов полной заводской степени готовности; соблюдения требований качественного обслуживания.

Использование устаревших технических решений не обеспечивает достижения эффективности при наличии новых внешних требований. При наличии несоответствия между отдельными показателями технической системы принимают решение о целесообразности ее модернизации. Под последней понимают ввод в систему новых эффективных элементов, например, полной автоматизации, компьютеризации, которые должны улучшить показатели прежней системы и приблизить их значение к новым показателям, соотносимым с решением на базе принятых требований к новому «псевдооптимальному» варианту.

Вопросы для самоконтроля по разделу 1

1. Дайте определение функции системы. Чем обусловлен выбор общецелевой функции?
2. Дайте определение системному анализу. Приведите примеры системного подхода в области исследования холодильной техники.
3. Какие положения необходимо учитывать при проведении системного анализа?
4. Приведите рекомендуемую последовательность при объективной постановке задачи.
5. Что понимают под понятием «псевдооптимальный вариант»?
6. В чем заключается прием структурного разбиения? В чем целесообразность такого приема?
7. По каким причинам возникает необходимость корректировки задачи и ее конечных целей?

2. ТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ КАК ОБЪЕКТ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

2.1 Общие требования к техническим системам как объектам проектирования

Как уже отмечалось, техническая система – это целостная совокупность взаимосвязанных средств и элементов, обладающая определенной структурой. Этот термин может быть однозначно распространен на такие виды продукции, как изделия (от небольшого редуктора до огромных турбокомпрессоров) и сооружения (от мелких прилавков и камер до крупных хладокомбинатов, заводов сухого льда, установок сжижения природного газа, других технических комплексов, промышленных комбинатов). Технические системы не существуют вне общества - их разрабатывают, изготавливают и эксплуатируют люди, и тем самым эти системы фактически являются частью комбинированных человеко-машинных систем [6]. Человеко-машинные системы (ЧМС) — это системы, в которых человек-оператор взаимодействует с техническими устройствами для управления или исследования реального объекта во внешней среде. Первоначально термином обозначали систему «человек-техника», но с появлением ЭВМ понятие расширили на систему «человек-ЭВМ» [18]. ЧМС включает состоит из следующих компонентов: человека (группы людей), машины или системы, связывающей среды или интерфейса. Данное взаимодействие широко распространено в холодильной индустрии. К примеру, такими системами являются комплексы с системами управления устройствами и технологическими процессами, разработанные крупнейшим в мире производителем GEA Group – оборудования холодильной, пищевой промышленности и других отраслей [19].

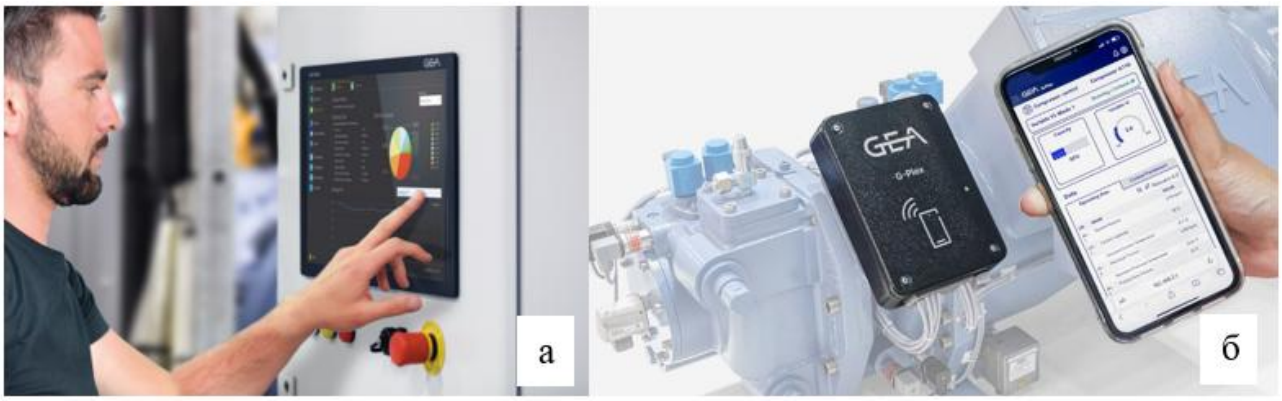


Рис. 2.1. Примеры человеко-машинных систем в холодильной индустрии: а) GEA OMNI панель управления – современное цифровое решение для управления компрессорами, системами охлаждения и отопления, а также для модернизации существующего оборудования [20]; б) GEA G-Plex – мобильная система управления степенью сжатия, производительностью, мониторинга состояния и т.д. для винтовых компрессоров GEA Grasso [21].

Свойства технических систем не сводятся к сумме свойств отдельных ее элементов. Это требует понимания формирования свойств как составляющих их элементов, так и особенностей образованной на основе этих свойств всей системы в целом [8]. Кроме того, характер и особенности проектирования зависят от вида разрабатываемой системы. Естественно, что система должна удовлетворять определенному уровню качества, который определяется той потребностью, для удовлетворения которой создана система.

Качество - целостная характеристика совокупности свойств данного предмета, которая, в соответствие с современным развитием техники, должно удовлетворять как минимум 11 группам требований:

1. Показатели функционального назначения:
- конструктивная особенность;
- состав и структура;
- техническое совершенство;
- транспортабельность.

2. Надежность (по ГОСТ Р 27.102-2021) [22]:
- безотказность;
- ремонтопригодность (в целом и по частям);
- сохраняемость;
- долговечность.

3. Безотказность:
- вероятность безотказной работы;
- средняя наработка на первый отказ;
- интенсивность отказов;
- параметр потока отказов; гарантийная наработка.

4. Ремонтопригодность:
- средняя трудоемкость обслуживания;
- вероятность восстановления;
- средняя трудоемкость ремонта;
- удельная трудоемкость ремонта;
- средняя и относительная стоимость технического обслуживания и ремонта.

5. Сохраняемость:
- срок сохраняемости;
- средний срок сохраняемости;
- гамма-процентный срок сохраняемости;
- медианный срок сохраняемости.

6. Долговечность:
- моторесурс расчетный;
- срок работы до первого капитального ремонта;
- межремонтный срок;
- срок до списания.

7. Комплексные показатели:
- коэффициент готовности;

- коэффициент технического использования;
- вероятность безопасного функционирования при выполнении ожидаемой задачи.

8. Технологичность:
- использование типовых технологических процессов при изготовлении;
- использование известных материалов;
- материалоемкость:
- коэффициент сборности (блочности).

9. Эргономичность (по ГОСТ Р ИСО 26800-2013) [23] и уровень звука в рабочей зоне (по ГОСТ 12.1.050-86) [24].

10. Стандартизация узлов и элементов.

11. Патентно-правовая защита:
- наличие собственных охранных патентов;
- патентный формуляр по ГОСТ 15.012-84 [25].

Качество результатов проектной разработки оценивается, посредством определенных сравнительных критериев, следующим образом:

а) путем сравнения расчетных параметров и характеристик проектируемого изделия с аналогичными данными существующих подобных изделий;

б) путем сравнения показателей различных вариантов новой машины между собой и их оценкой с точки зрения соответствия современному уровню науки и техники.

Критерии сравнительной оценки качества новой системы (машины) отражают основные принципы конструирования и современные тенденции машиностроения. Важнейшими и наиболее общими критериями являются:

1. Работоспособность или функциональное соответствие - выполнение заданных операций (функций) по всем параметрам (скоростным, нагрузочным, точностным и пр.).

2. Производительность или полезная отдача (выработка продукции).

3. Достаточная долговечность, определяемая темпами морального старения и экономическими соображениями.

4. Надежность - безотказность действия, сохранение исходных параметров, устраняемость повреждений.

5. Эстетико-гигиеническое совершенство машины, то есть безопасность, красота, удобство обслуживания, гармония с окружающей средой.

6. Степень унификации, то есть многократного применения одинаковых конструктивно элементов деталей и узлов в изделии: степень нормализации (использование стандартных размеров, конструктивных элементов, деталей, узлов в целях обеспечения взаимозаменяемости и технологичности).

7. Технологичность – максимальное использование существующих производственно-технологических возможностей для изготовления деталей, сборки узлов новой машины и контроля.

8. Степень автоматизации управления и потребность в обслуживании (наладка, смазка, регулировка).

9. Ремонтопригодность - удобство и минимальное количество ремонтов.

10. Удельная материалоемкость (отношение массы к производительности, мощности, грузоподъемности и т. д.).

11. Компактность - наименьшие габариты и наибольшее их использование (заполнение), простота форм.

12. Удельная энергоемкость.

13. Экономическая эффективность - разность между отдачей машины (в руб.) и суммой расходов на эксплуатацию за весь срок службы (суммарный экономический эффект).

Технические системы, создаваемые людьми, должны содействовать совершенствованию и самих людей, и, следовательно, обладать гуманной направленностью, нести, наряду с физической, не менее важную социально-духовную функцию. Такое воздействие ведет, в свою очередь, к росту технической культуры и, как результат, к дальнейшему прогрессу техники. Техническая система как элемент человеческой культуры, способствующий духовному, нравственному и эстетическому развитию, - в настоящее время определяющий признак степени совершенства этой системы и уровня развития создавшего ее общества.

Таким образом, технические системы различаются по назначению и устройству и как объекты исследований и разработки могут описываться различно. Рассмотрим состав и виды технических систем, и более подробно - механических систем [6].

2.2 Виды технических систем

В процессе работы технические системы преобразуют энергию, свойства и состояния вещества, а также информацию. В зависимости от назначения и физической сущности системы подразделяют на машины, аппараты и приборы. Например, в составе холодильной установки можно выделить: в качестве машины – компрессор, в качестве аппарата – испаритель, в качестве прибора – приборы автоматики (рис. 2.2). В тех случаях, когда трудно определить принадлежность системы, употребляют понятие устройства или комплекса, например, регулирующее устройство, охлаждающий комплекс и т. д.

Технические системы, предназначенные для получения или преобразования механической энергии, относят к машинам. Их основу составляют механизмы, т. е. системы подвижно связанных между собой контактирующих твердых тел-звеньев, совершающих определенные механические движения. Внешне разные машины могут содержать подобные или схожие механизмы [6].



Рис. 2.2. Некоторые элементы (технические системы) холодильной установки: а) компрессор; б) испаритель; в) приборы автоматики

Технические системы, предназначенные для получения или преобразования иных форм энергии, относят к аппаратам. Их примерами могут служить конденсатор, испаритель, теплообменник, телевизор (аппарат, преобразующий электромагнитные сигналы в визуально-звуковую информацию), телефон (аппарат, осуществляющий взаимное преобразование звуковых и электрических сигналов), реактор (изменяющий посредством реакций свойство и/или состояние вещества) и т. д. [6].

Технические системы, обеспечивающие контроль, управление, измерение, регулирование, относят к приборам. В зависимости от физической сущности функционирования их подразделяют на механические (гироскоп и т. п.), электрические (вольтметр и т. п.), оптические (микроскоп и т. п.) и т.д. [6].

С целью повышения эффективности и качества реализации главной функции может возникнуть потребность в дополнительных функциях, выполнение которых будет осуществляться этой же системой или введенной в нее новой частью. Такие функции называют вспомогательными или сервисными [6]. Поэтому в составе машин могут находиться электрические и другие устройства, а в аппаратах - машинные агрегаты и механические конструкции, как, например, дисковод компьютера, мешалка испарителя, стержневая конструкция опоры аппарата. Главных и основных функций в технической задаче может быть две и более. Вопрос о том, совмещать ли эти элементы в одной системе, проектировщик решает в зависимости от конкретных условий — это средство достижения наилучшего результата. Знание вида системы позволяет точнее определить ее функцию и выделить характеризующие ее параметры.

2.2.1 Состав машинного агрегата

Рассмотрим подробнее функциональную классификацию машин (рис. 2.3.). Отметим, что машина – некоторое устройство, выполняющее механические движения для преобразования энергии, материалов и информации с целью замены или облегчения физического и умственного труда человека. В этом определении подчеркнем, что машина – это устройство, выполняющее

именно механические движения. Далее, при более подробном рассмотрении, мы ограничимся в данном учебном пособии именно механическими машинами. Второй акцент в определении: машина служит для облегчения умственного и физического труда человека. Это — важное и определяющее условие.



Рис.2.3. Функциональная классификация машин

1. Энергетические машины (рис. 2.4.). Эти машины предназначены для преобразования любого вида энергии в механическую или же наоборот. Соответственно в этом классе можно выделить 2 типа энергетических машин: машины-двигатели и машины-генераторы. Двигатели служат для преобразования любого вида энергии в механическую, а генераторы служат для преобразования механической энергии в любую другую, например электрическую. На самом деле некоторые машины могут объединять в себе как двигатель, так и генератор, например паровая турбина. В такой турбине энергия давления пара преобразуется через лопатки в механическую энергию вращения вала и уже далее превращается в электрическую энергию.

2. Рабочие машины (рис. 2.5). Эти машины предназначены для преобразования материалов. Тут тоже можно выделить 2 отдельных типа. 1-й тип – технологические машины, которые служат для изменения формы материала или его свойств. К технологическим машинам относятся различные станки, прессы и многое другое производственное оборудование. 2-й тип – транспортные машины. Они преобразуют материалы путем их перемещения в пространстве. К транспортным машинам относятся автомобили, грузоподъемные машины, конвейеры и т.д.

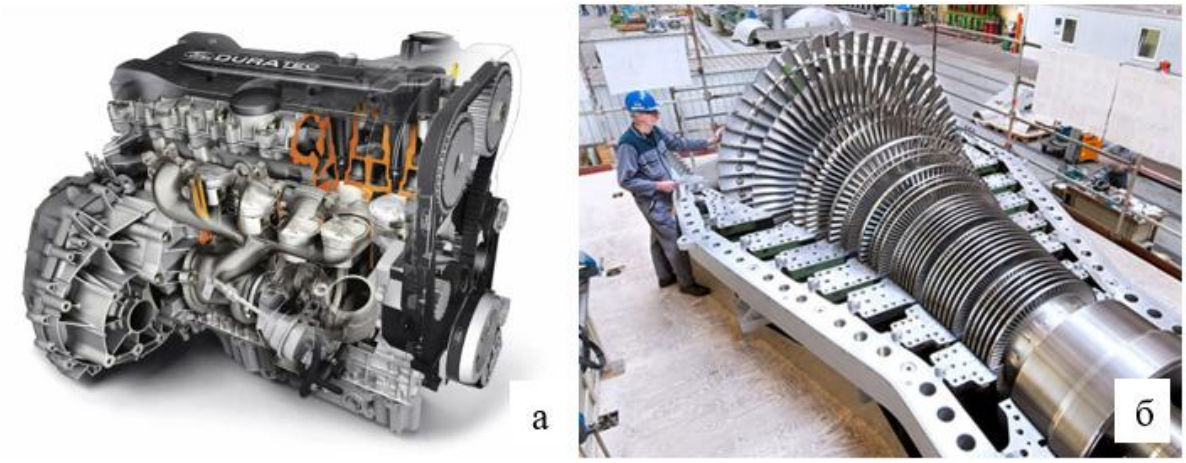


Рис. 2.4. Примеры энергетических машин: а) машина-двигатель – двигатель внутреннего сгорания; б) машина-генератор – паровая турбина

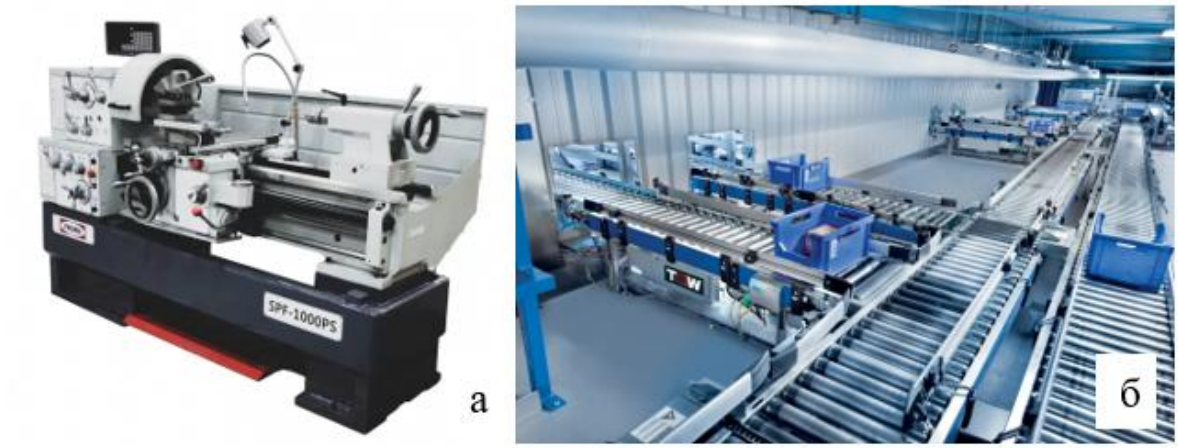


Рис. 2.5. Примеры рабочих машин: а) технологическая машина – токарный станок; б) транспортная машина – конвейер

3. Информационные машины (рис. 2.6.). Эти машины предназначены для получения и преобразования информации. Тут тоже условно выделяют два типа. 1-й тип – контрольно-управляющие машины, которые преобразуют получаемую контрольно-измерительную информацию с целью управления энергетической или рабочей машиной. 2-й тип – математические машины (вычислительные, счетные), которые преобразуют информацию, получаемую в виде различных математических образов, заданных в виде отдельных чисел или алгоритмов.

4. Кибернетические машины (рис. 2.7.). Данный класс машин появился относительно недавно. Они заменяют или имитируют различные механические, физиологические или биологические процессы, присущие человеку или живой природе, и обладают элементами искусственного интеллекта.

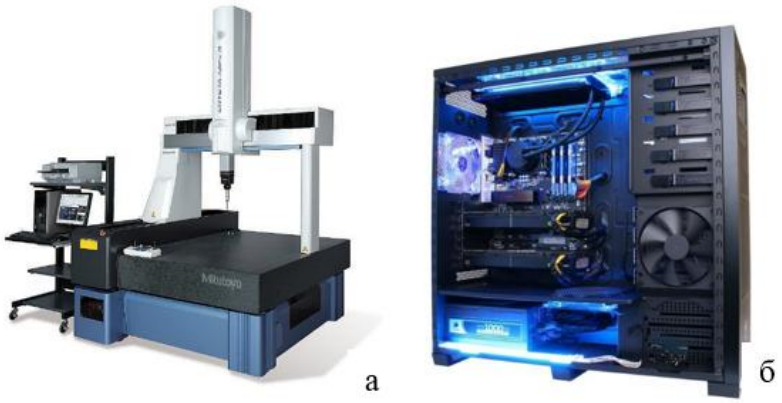


Рис. 2.6. Примеры информационных машин: а) контрольно-управляющая машины – стандартная контрольно-измерительная машина (КИМ) с числовым программным управлением (ЧПУ); б) математическая машина – персональный компьютер



Рис. 2.7. Пример кибернетической машины – робот-манипулятор

Машина, как самостоятельная система, так и встраиваемая в другую систему, состоит из двигателя как источника энергии (движения), передаточного и исполнительного устройств и системы управления. Вместе первые три части обычно называют машинным агрегатом. Механическое передаточное устройство называют передаточным механизмом, а механическое исполнительное устройство - исполнительным механизмом. Схематично комбинация данных элементов представлена на рис.2.8., а в качестве примера на рис. 2.9 представлена интерпретация данной схемы относительно винтового компрессорного агрегата.

Часть машинного агрегата, включающая двигатель и передаточное устройство, составляет привод. В зависимости от физической сущности приводы, как и передаточные устройства, подразделяются на механические, гидравлические, электрические и ряд других, а также на комбинированные - электромеханические, гидроэлектромеханические и т. п.

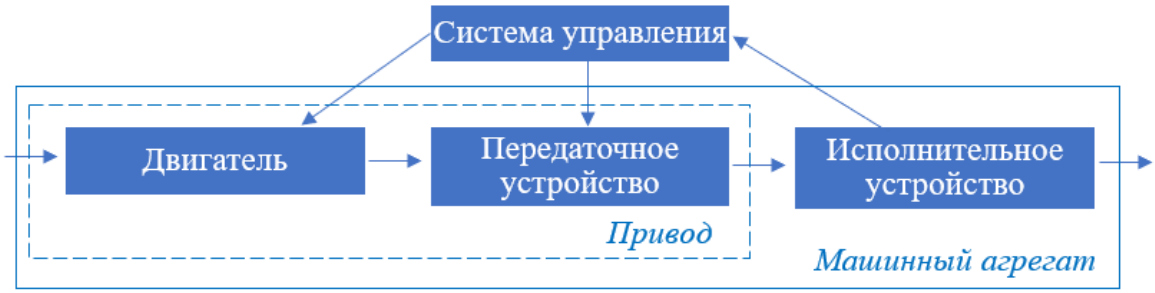


Рис. 2.8. Схематичное представление функциональных частей машины



Рис. 2.9. Интерпретация винтового компрессорного агрегата как составных частей машины

Исполнительное устройство машины предназначено для реализации потребной функции посредством выполнения определенных движений, например, перемещения поршня насоса, руки робота. Проектирование таких устройств заключается в создании механизмов, обеспечивающих, прежде всего,

заданные вид и закон движения. Эти задачи решаются методами теории механизмов и машин, рассматриваемыми в отдельном курсе [26].

Механическое передаточное устройство (передаточный механизм) предназначено для передачи механической энергии. Его необходимость определяется относительным положением и согласованностью параметров движения двигателя и исполнительного устройства. Это позволяет подразделить передаточные устройства на следующие:

- передачи - согласуют параметры и вид движения на выходе двигателя с входными характеристиками исполнительного устройства. Механические передачи, замедляющие передаваемое движение, относят к редукторам, а ускоряющие - к мультипликаторам (рис. 2.10);

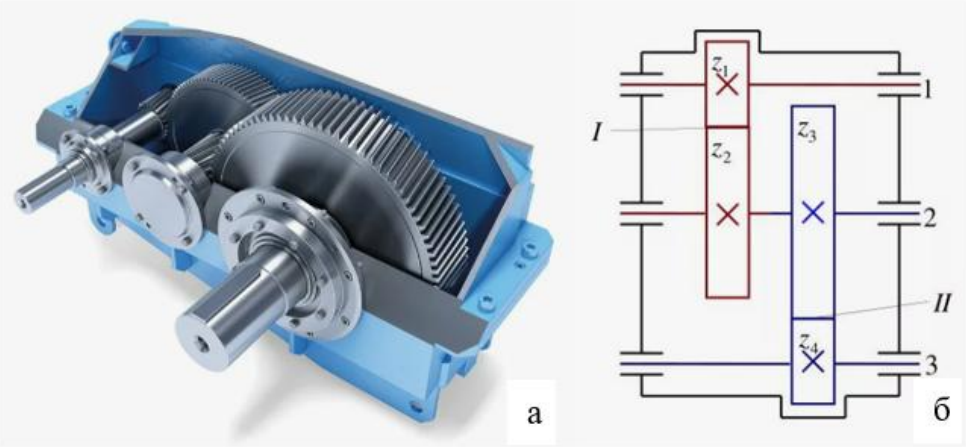


Рис.2.10. Типичная конструкция редуктора (мультипликатора):
а) внешний вид; б) кинематическая схема: I – редуктор;
II – мультипликатор

- трансмиссии - только передают движение от удаленного двигателя к исполнительному устройству без изменения характеристик этого движения. Например, от двигателя автомобиля, расположенного в его передней части, к задним колесам (ведущему мосту) (рис.2.11).

Проектирование передаточных устройств заключается в обеспечении заданных условий работы и начинается с обоснования необходимости такого устройства.

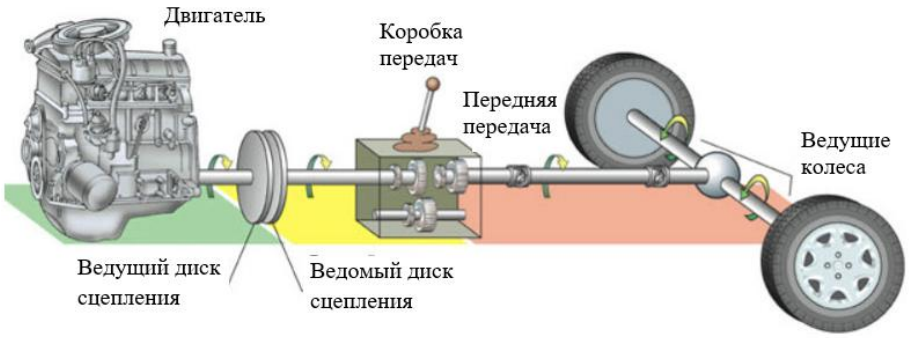


Рис.2.11. Основные элементы автомобильной трансмиссии

Как промышленная продукция, технические системы и их элементы (изделия – предметы или набор предметов производства, подлежащие изготовлению на предприятии по конструкторской документации) в зависимости от характера изготовления по ГОСТ Р 2.101-2023 [27] подразделяются на следующие виды (рис.2.12):

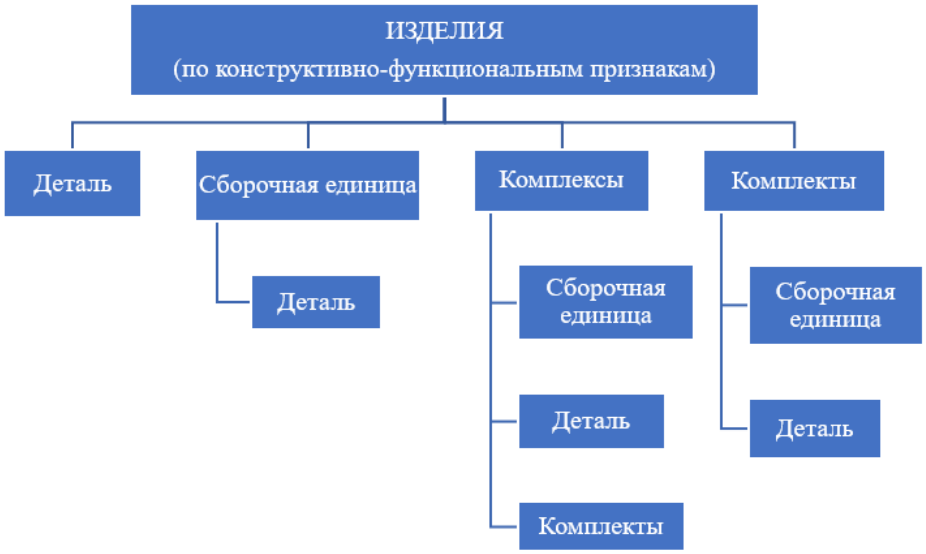


Рис.2.12 Классификация и структура изделий по конструктивно-функциональным признакам

- деталь - изделие, изготовленное из однородного по наименованию или марке материала без применения сборочных операций (рис. 2.13). Деталь может быть, например, отлита или напечатана на 3D-принтере, но главное, что это не сборная, а некая неделимая часть машины.

- сборочная единица - изделие, состоящее из отдельных частей и собираемое на предприятии-изготовителе, которое может рассматриваться как самостоятельная конечная продукция (рис.2.14). Сборка производится за счет применения различных сборочных операций, таких как свинчивание, сочленение, клепка, сварка, пайка, опрессовка, развальцовка, склеивание и т.п;



Рис. 2.13. Примеры деталей

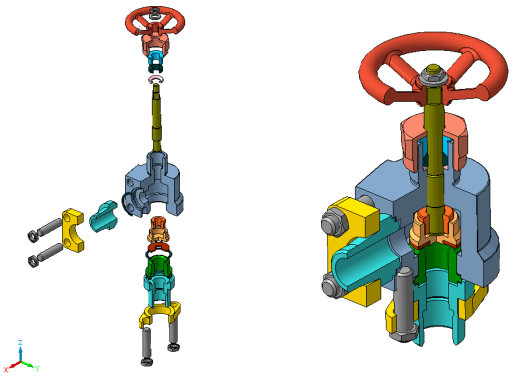


Рис.2.14. Пример сборочной единицы – вентиль запорный

- комплекс - два или более специфицированных (являющихся частями одной общей системы и входящие в единую спецификацию) изделия, не соединенные на предприятии-изготовителе сборочными операциями, но предназначенные для выполнения взаимосвязанных функций;



Рис.2.15. Пример комплекса – цех-автомат

- комплект – два и более изделия, не соединённых на предприятии-изготовителе сборочными операциями и представляющих набор изделий, имеющих общее эксплуатационное назначение вспомогательного характера (рис.2.16).



Рис.2.16. Пример комплекта – комплект инструментов для ремонта и обслуживания систем кондиционирования воздуха

Часто используют понятие сборочного узла, занимающего промежуточное положение между деталью и сборочной единицей. Если сборочная единица выступает как конечный вид продукции какого-то производства, то сборочный узел является условной частью изделия, временно формируемой в процессе его сборки. Например, шатунно-поршневая группа (рис.2.17, а), если в дальнейшем она поступает на завершающую сборку [6] компрессора как изделия (рис.2.17, б). Таким образом, сборочную единицу, состоящую из деталей, имеющих общее функциональное назначение, называют узлом, т.е. узел – это некоторая функциональная единица машины.

Машины, аппараты и приборы могут входить в состав более сложных технических систем, но, с другой стороны, также могут состоять из отдельных взаимосвязанных частей. Набор часто применяющихся частей образует элементную базу предметной области машиностроения, компрессоростроения, аппаратостроения, приборостроения.

Элементы такой базы обычно характеризуются узким функциональным назначением, их целиком в состоянии разработать один специалист, либо он использует их в проектируемой системе в виде готовых изделий (сборочных единиц) [27].

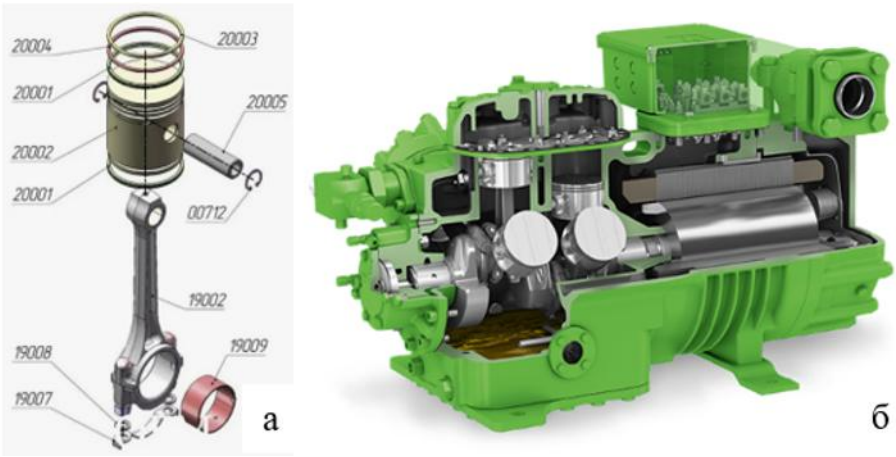


Рис. 2.17. Пример сборочного узла – шатунно-поршневой группы (а) как части изделия – поршневого компрессора (б)

Машин и различных механизмов существует очень большое количество, и они весьма разнообразны. Казалось бы, как можно рассмотреть и изучить детали всех машин? На самом деле, в силу унификации и взаимозаменяемости можно выделить такие однотипные детали, которые встречаются в самых разных машинах и механических системах. Эти детали называются деталями общего назначения (рис.2.18, а), они составляют большую часть, порядка 80% всех деталей. Данные элементы могут различаться по устройству, но иметь схожее назначение. Принято элементы с одинаковым назначением объединять в группы: резьбовые соединения, крепежные элементы и т.п. Среди элементов выделяют типовые, т.е. общие и часто встречающиеся в разных устройствах. Это

различные соединения, валы, зубчатые колеса, муфты и т.д., их рассматривают в общетехнических курсах. Все другие детали, например поршни, лопатки турбин, винты, роторы и т.д. имеют специфическое применение и относятся к деталям специального назначения (рис.2.18, б), они изучаются отдельно персонально в рамках других предметов. Подходы к их конструированию являются аналогичными.

Количество типовых элементов ограничено, однако все многообразие машин, аппаратов и приборов построено, главным образом, на применении этих элементов. Элементная база машиностроения имеет ряд особенностей:

- достаточно большая часть ее элементов также входит в состав элементных баз аппарато- и приборостроения, как, например, резьбовые соединения;

- на характеристики машин существенно влияют не только типы и расположение элементов, но и их размеры и технология изготовления. Изменением параметров одного и того же элемента возможно изменение его функционального назначения, как, например, колесо и маховик [6].



Рис.2.18 Примеры деталей. Общего назначения (а): крепежные детали, стандартные фланцы. Специального назначения (б): винтовая пара винтового компрессора, спирали спирального компрессора

2.3 Виды параметров технических систем

2.3.1 Номинальный и действительный параметры

Несмотря на многочисленность, все параметры могут быть представлены в одном из следующих видов: номинальные, действительные и рабочие.

Номинальный параметр - предположительное значение некой характеристики системы или ее исходная величина. Назначается проектировщиком первоначально либо является результатом операций с другими параметрами.

К действительным параметрах относятся параметры реального изделия, определяемые в результате измерений. Их значения у каждого изделия индивидуальны и зависят от внешних условий, условий изготовления, способа измерения и многих других факторов [8].

Например, по паспорту ожидаемая мощность компрессора равна 10 кВт. Это - номинальный параметр. В результате испытаний одного из компрессоров данной модели измерением установлено, что его мощность составляет 9,8 кВт. Это - уже действительный параметр, величина которого зависит от конкретных условий испытаний, способа и точности измерений, качества изготовления и сборки. Так, проводя более точные замеры, допустим, установлено, что мощность равна 9,81 кВт. Если измерить мощность двигателя другого компрессора той же модели, то ее величина в большинстве случаев окажется иной. Совпадение величин одних и тех же параметров, но разных изделий из их партии (в нашем примере - параметра мощности) между собой либо с номинальной величиной возможно только в пределах точности измерения или для целочисленных величин [8].

Отклонения действительных параметров от номинальных неизбежны. Но изделие считается годным, если его действительные параметры соответствуют предварительно назначенным или указанным в документации.

Поэтому, чтобы не возникало недоразумений между наименьшими и наибольшими предельными значениями параметров, принято в документации и обязательно - в предназначенной для других пользователей (заказчика, исполнителя, покупателя, других специалистов), параметры указывать в виде допустимых пределов их изменения [9].

Например, твердость материала - 150...200 НВ. Параметры, представленные в таком виде, называют рабочими.

2.3.2 Номинальный и предельный размеры

Другим видом представления рабочих параметров служит запись в виде номинального значения с указанием предельно-допустимых по отношению к нему отклонений. Например, для вала, приняв в качестве номинального диаметра среднюю величину, указывают соответствующие отклонения наибольшего и наименьшего предельных размеров от номинального размера.

Величина интервала, ограниченного предельными допустимыми значениями параметров, называется допуском рабочего параметра. Сама же область допустимых значений параметров называется полем допуска. Сужение поля допуска (уменьшение величины допуска) повышает требования к точности изготовления изделия по связанному с данным допуском параметру.

Из-за действия случайных факторов невозможно заранее точно определить и полностью устранить разброс действительных параметров при изготовлении партии подобных изделий. Удается только прогнозировать характер разброса этих параметров. Прогноз основывается на экспериментальных исследованиях и применении методов математической статистики и теории вероятностей, он тем точнее, чем больше размер партии изделий.

Иногда рабочий параметр задается только номинальной величиной, а отклонения подразумеваются, считаются очевидными и не указываются. Это некорректно, особенно в документации, и может привести к недоразумениям.

Проектные расчеты часто ведут по номинальным параметрам. Их значения берут из интервала, заданного рабочими параметрами, или иных соображений. В таких случаях обязательно следует знать причины, по которым был сделан выбор (уменьшение возможных неблагоприятных последствий, повышение достоверности результатов и т. д.), и руководствоваться этим на протяжении решения всей задачи [9].

2.4. Требования, предъявляемые к проектируемым системам

Процесс проектирования и его результаты всегда взаимосвязаны из-за необходимости удовлетворения различных требований. Прежде всего, они отражают интересы двух групп людей: производителей и потребителей технических систем как продукции, товара. Вся деятельность производителя, включающая проектирование, производство и реализацию технических систем, является средством удовлетворения его материальных, духовно-эстетических и иных интересов. Но это возможно только при условии существования спроса на данную продукцию, т. е. удовлетворении интересов покупателя, наличия ее потребителя.

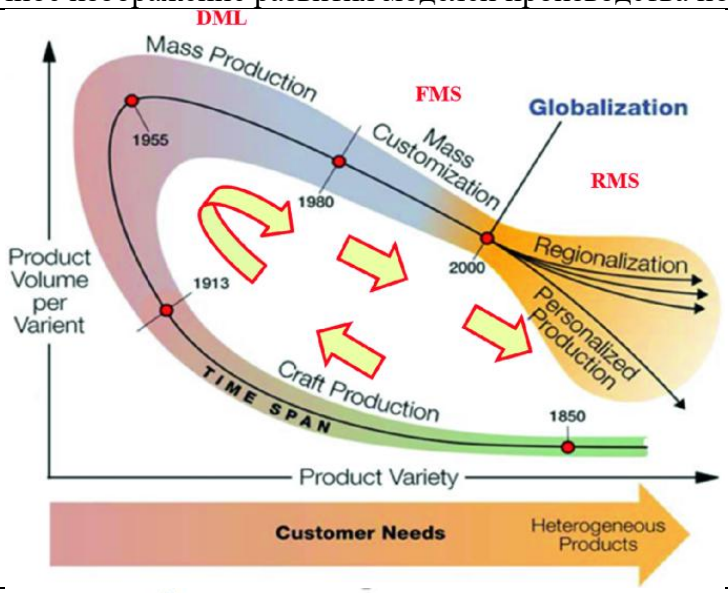
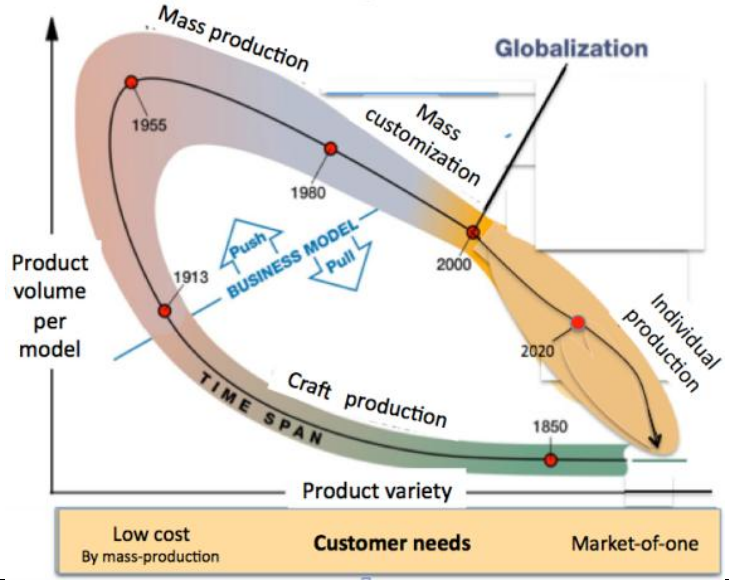
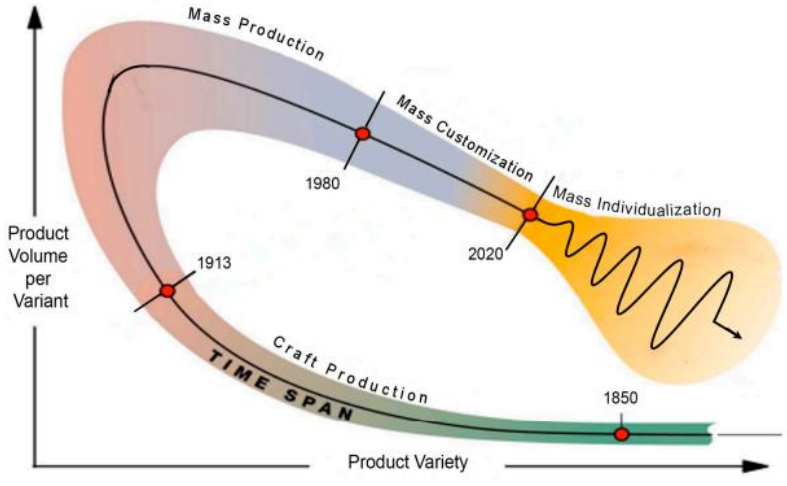
Каждый производитель стремится получить максимум эффекта от реализации своей продукции. В большинстве случаев под таким эффектом подразумевают доход или, иными словами, массу прибыли, т.е. суммарное ее количество, полученное за всю реализованную продукцию.

Каждый потребитель с минимальными хлопотами и затратами желает получить нужный ему товар, обладающий максимальными потребительскими свойствами.

Основы удовлетворения интересов и производителя, и потребителя закладываются на этапе проектирования. Здесь составляется перечень требований к технической системе, который определит свойства будущего изделия, успех или неудачу разработки. Требования должны принимать во внимание свойства во всем их многообразии и взаимосвязи, на всех этапах жизненного цикла, с учетом перспектив развития науки, техники и общества. Требования являются неотъемлемой частью общей характеристики технических систем, определяют направления и особенности ведения разработки [8].

В данном контексте можно отметить, что модели производства развиваются по спирали [28] (табл.2.1).

Таблица 2.1 – Развитие моделей производства по спирали (Йорам Корен) [28-30]

№п/п	Схематичное изображение развития моделей производства по спирали	Источник
1		[29], 2010 г.
2		[30], 2021 г.
3		[31], 2024 г.

1. Переход от индивидуального ручного производства к массовому машинному. Это стало возможным после внедрения конвейера.

2. Массовая кастомизация. В рамках массового производства возможно изготовление большого количества вариаций одного продукта для максимального учёта индивидуальных требований заказчика - например: различных вариантов дизайна, наличия каких-то дополнительных функций и т.д.

3. Переход обратно к индивидуальному изготовлению. При этом главными инструментами выступают цифровое проектирование и моделирование, а также аддитивные технологии, дающие возможность получить полностью персонализированный продукт. Из табл.2.1, по мнению ученого Йорама Корена, можно отметить:

- глобализация способствует регионализации (региональной кастомизации) и персонализированному производству, при котором общество требует большего разнообразия и меньших объёмов для каждого варианта продукта [29];
- общество переходит от ремесленного производства к массовому, затем к массовому кастомизированному производству, а теперь и к индивидуальному производству [30].
- массовая индивидуализация — это производственная парадигма, направленная на выпуск большого разнообразия «уникальных» (“market-of-one” (или «единственных в своём роде» (“one-of-a-kind”)) продуктов по разумной цене, доступной для широкой публики. Из соотношения «разнообразие продукции и объем выпускаемой продукции на одну модель» видно, что переход общества от ремесленного производства к массовому производству, массовой кастомизации, а теперь и к массовой индивидуализации приближается к завершению, но от рынка единичных продуктов для богатых к рынку единичных продуктов для обычного покупателя. Кроме того, по сравнению с продукцией ремесленного производства, которая изготавливалась квалифицированными работниками вручную, массово-индивидуализированная продукция, как правило, гораздо сложнее и производится на фабриках с передовыми производственными мощностями и технологиями автоматизации [31].

На рис.2.19 представлена схема соотношения объёма и разнообразия продукции в четырёх производственных парадигмах с течением времени Йорама Корена, адаптированная СПбПУ [28].

К типовым требованиям к научно-технической продукции относят функциональные (показатели назначения), надежности, технологичности, стандартизации и унификации, ограничения вредных воздействий (эргономичность и экологичность), эстетичность, экономичность, патентно-правовые.

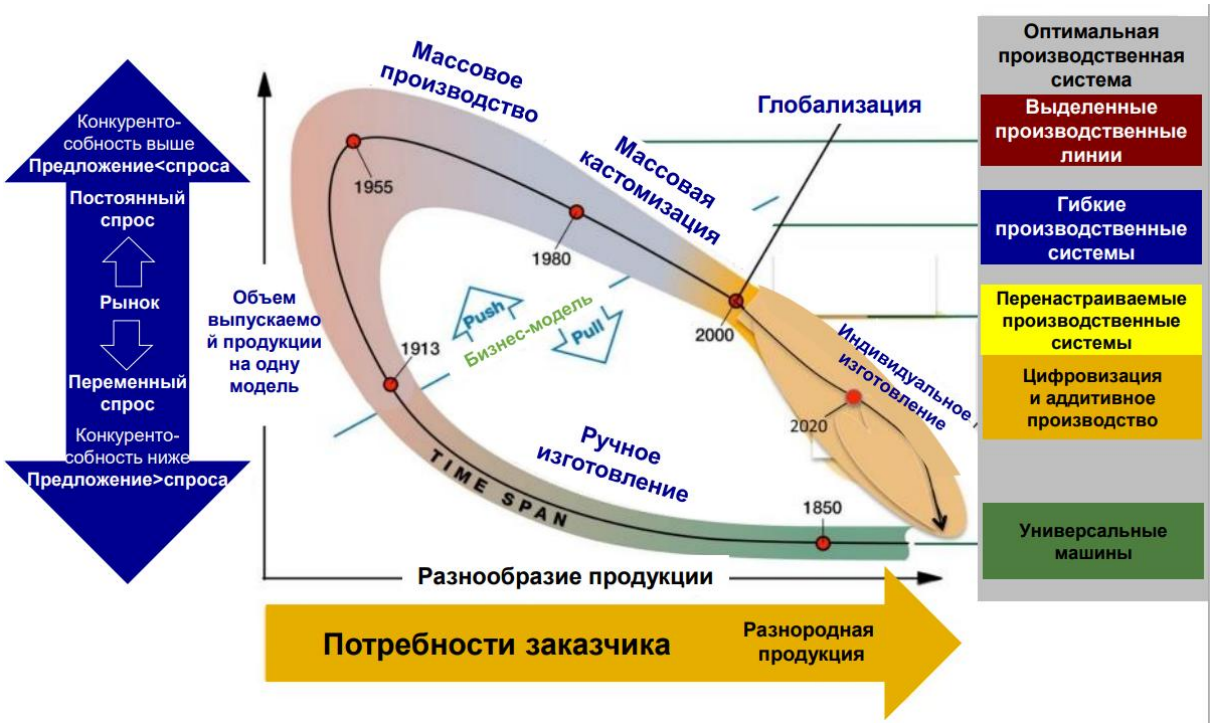


Рис.2.19 Тренды в области производства и потребления [28]

Особо стоит отметить, что если продукция предназначается для реализации отдельным гражданам или каким-то образом может быть им продана, то такая продукция должна удовлетворять дополнительным требованиям, устанавливаемым Законом Российской Федерации «О защите прав потребителей» [32].

Рассмотрим более детально состав требований к техническим системам, уделив основное внимание экономическим аспектам проектирования.

2.4.1 Требования производителя

Прибыль производителя продукции определяется как разность между ее продажной ценой и полной себестоимостью. Прибыль зависит от многих факторов, ее стремятся максимизировать. Более точно прибыль можно охарактеризовать нормой прибыли и степенью рентабельности производства и реализации.

Рентабельность характеризует эффективность использования ресурсов предприятия и равна отношению прибыли к общей стоимости основных и оборотных фондов (оборудование, материалы, денежные средства и другая собственность предприятия, имеющая отношение к выпуску продукции). В торговле рентабельность исчисляется как отношение прибыли к объему товарооборота. Норма прибыли по своему содержанию близка к понятию степени рентабельности.

Цена изделия разделяется на оптовую и розничную, отличающиеся величиной и видом торговых скидок. Для увеличения прибыли цена на продукцию должна быть как можно больше. Будем рассматривать только

технические способы ее повышения, не касаясь вопросов монополизации рынка, введения правовых, таможенных, протекционистских, силовых и других мер. Эти меры не требуют напряженной работы научно-технической мысли, дают временный успех и ведут к снижению профессионализма и оскудению интеллектуальных ресурсов [6].

Цена изделия повышается с ростом его потребительских свойств, а также при возможности первым выйти на рынок товара с неудовлетворенным спросом, еще не заполненный аналогичной продукцией конкурентов. Выход на такой рынок связан, в том числе, с сокращением периода времени разработки.

Период разработки соответствует отрезку времени от получения задания до момента запуска разработанной технической системы в отлаженное производство. Период может минимизироваться (закончить работу как можно быстрее) или выступать в виде определенного рубежа-ограничения (когда необходимо успеть к определенному сроку).

С периодом разработки тесно связаны сроки морального и физического устаревания продукции, вызываемые соответственно моральным и физическим износом.

Моральному износу подвержены как уже эксплуатируемые изделия, так и еще разрабатываемая продукция. Данный износ вызывается снижением потребительской стоимости ниже уровня рентабельности производства. Это происходит при появлении на рынке аналогичных по функциям, но более дешевых изделий, либо новых изделий, более эффективных, надежных, красивых и т.д., способных выполнять прежние задачи.

Моральный износ - следствие научных открытий и изобретений, новых технологий, изменения моды и т. п. Каждому типу изделий соответствует свой срок морального износа. Так, в последнее время новое техническое решение устаревает за 3...8 лет. Например, вычислительная техника - за 3...4 года, металлорежущие станки типа обрабатывающего центра – 5...6 лет, компрессор - 10...15 лет, холодильный агрегат - порядка 25 лет.

Физический износ связан с ростом затрат на поддержание работоспособности изделия и определяется сроком, после которого последующая эксплуатация изделия становится экономически невыгодна (изделие нерентабельно в эксплуатации).

Физический и моральный износ не распространяется на произведения искусства, исторические памятники и т. п. В странах с наполненным рынком и материально обеспеченным населением не допускают, чтобы срок физического износа превышал срок морального износа.

Сокращение времени разработки позволяет отодвинуть срок морального устаревания продукции, что увеличивает массу прибыли благодаря возможности выпустить и реализовать большее количество этой продукции. Ускорение разработки возможно привлечением дополнительных ресурсов (финансовых, материально-технических, людских, но следует быть осторожным, так чтобы затраты на увеличение ресурсов окупились последующими доходами) и

максимальным внедрением стандартизации, унификации и преемственности [6]. На современном этапе развития техники можно отметить, что сокращение времени разработки и выхода технической продукции на рынок возможно за счет смещения «центра тяжести» на этап проектирования. Если раньше изготовление изделия предполагало множество натурных испытаний, то сейчас доводка изделия таким путём становится слишком дорогой и неконкурентоспособной. При проектировании сложных высокотехнологичных изделий неизбежны ошибки, которые выявляются при последующих испытаниях. Исправление этих ошибок и внесение необходимых изменений отбрасывает разработку продукта обратно на стадию проектирования, за которым следует изготовление нового прототипа и проведение новых натурных испытаний. Изготовление прототипов и проведение испытаний – процесс крайне дорогостоящий, причем чем позже вносятся изменения, тем большие издержки несет компания. В основе новой парадигмы цифрового проектирования и моделирования лежит использование сложных мультидисциплинарных математических моделей с высоким уровнем адекватности реальным материалам, конструкциям и физико-механическим процессам (включая технологические и производственные), описываемых уравнениями математической физики, в первую очередь, 3D нестационарными нелинейными дифференциальными уравнениями в частных производных («умные» модели). При этом натурные испытания являются чрезвычайно дорогостоящими, поэтому единственным способом минимизировать затраты и сократить время вывода на рынок технической продукции является проведение виртуальных испытаний. Для этого, вместо изготовления прототипов и их тестирования, разрабатывается цифровая модель, которая также тестируется в цифровой среде, при этом количество виртуальных испытаний в десятки и даже сотни раз превышает количество натурных испытаний, которые проводились бы при традиционном подходе [33]. Такой подход помогает сосредоточить основную долю изменений и затрат на стадии проектирования. Использование технологий компьютерного проектирования и моделирования, начиная с самых ранних этапов, дает существенные преимущества для соблюдения трех основных критериев успешности разработок: сроков, стоимости и качества. Таким образом, появляется возможность не только значительно минимизировать общий объем затрат, но и ускорить создание нового продукта, который будет при этом иметь высокие технико-эксплуатационное характеристики (рис.2.20) [28].

Себестоимость продукции характеризует все затраты производителя, связанные с ее выпуском, реализацией и последующим обслуживанием. Правильнее рассматривать себестоимость, отнесенную к единице продукции. Это позволяет проводить сравнение эффективности выпуска аналогичных видов продукции разными производителями. Снижение себестоимости - основной путь увеличения доходов. Себестоимость может быть охарактеризована с двух сторон - социально-технической и экономической.



Рис. 2.20 Сравнение стадий жизненного цикла изделий при традиционном и передовом производстве [28]

Себестоимость включает следующие затраты (капитальные вложения):

- на персонал. Затраты зависят от количества и квалификации людей, привлекаемых к работе, что определяется ее предстоящей сложностью и умением управлять персоналом (подбор и расстановка кадров, распределение обязанностей и работ);

- на проведение научных исследований и информационное обслуживание, в том числе патентное и лицензионное. Они возрастают при разработке новых образцов продукции. Отдельно остановимся на затратах на патентное и лицензионное обслуживание. Патентные исследования позволят защитить продукцию от ее копирования конкурентами (повышение конкурентоспособности), получить доход при продаже патента или лицензии на его использование, уберечься от несанкционированного (по незнанию) использования чужого запатентованного решения. Если возникает потребность в применении запатентованного решения, то возможны следующие пути:

- игнорировать наличие патента. Это допустимо, если выпуск продукции не преследует коммерческие цели (например, для себя), либо предполагается ее реализация в стране, где патент на данное изобретение еще не зарегистрирован. В иных случаях, при обнаружении продукции,

выпускаемой без разрешения на использование в ней запатентованных технических решений, в судебном порядке накладывается штраф;

- попытаться видоизменить или улучшить запатентованное решение настолько, чтобы можно было получить новый патент;
- выкупить патент (получить монопольное право собственности), или приобрести лицензию (получить право на коммерческое использование), или дождаться, когда кончится срок действия патента;

- на материалы, сырье и комплектующие. Целесообразность их выбора может оцениваться как по исходной стоимости (затратам на приобретение), так (и это точнее) - по положительному эффекту от их применения. Например, применение дешевых материалов может привести к созданию массивных изделий с большими затратами на приобретение нужного количества материалов. Удобны относительные показатели, например, удельная прочность и удельная стоимость материала. Лучший вариант обычно определяют на основе сравнения ряда возможных;

- на энергию. Характеризуют энергопотребление производственного оборудования и эффективность производственного процесса. Применение энергоемких производств (термообработка, электромеханические метода, литье и т. п.) должно оправдываться получением высоких характеристик изделия и свойств его частей (высокотвердые поверхности, сложные по форме детали и т. д.);

- на изготовление и сборку. Включают затраты на аренду или приобретение и содержание помещения, аренду или приобретение и обслуживание оборудования, уплату соответствующих налогов (например, на имущество предприятий). Чем дороже используемое оборудование, тем эффективнее должна быть его работа (увеличение коэффициента загрузки за счет повышения серийности);

- на реализацию. Связаны с затратами на транспортировку и хранение, предпродажную подготовку и другие. Важное место в формировании цены и спроса отводится рекламе. Следует помнить, что реклама поддерживается реальными и достаточно высокими экономическими и социально-техническими характеристиками выпускаемой продукции. Важной характеристикой является структура капиталовложений, т.е. их распределение по отдельным видам затрат [6].

2.4.2 Требования потребителя

Потребительские свойства товара обобщенно характеризуются двумя показателями, обычно условно называемы «Цена» (учитывает все затраты потребителя) и «Качество» (учитывает социально-техническую эффективность приобретенного товара). Для более детального анализа данные показатели конкретизируют. Экономические характеристики товара, прежде всего, включают начальные затраты (цена изделия Ц) и текущие эксплуатационные

расходы Р. Кроме этого, необходимо учитывать полезную отдачу приобретенного товара I. Отдача может быть явной (в случае непосредственного использования товара в коммерческих целях) или косвенной, если связана с такими потребительскими свойствами, как улучшение настроения, здоровья, проведение досуга и т.п., что в итоге повышает работоспособность и производительность труда человека, владельца товара, снижает его расходы на лечение и т. п. Определенную выгоду также можно получить за счет правильно спланированной системы утилизации - использования вторичных ресурсов или запасных частей.

Цена изделия закладывается на этапе его проектирования и изготовления и от покупателя практически не зависит (если не принимать во внимание его умение торговаться или воздействовать на соотношение спрос-предложение).

Эксплуатационные расходы в общем случае складываются из следующего:

- стоимость расходуемой энергии, количество и эффективность ее использования (зависят, например, от КПД изделия, энергосберегающих принципов действия, лежащих в основе его функционирования);
- стоимость расходуемых материалов (например, смазка, элементы питания), запасных деталей и инструмента;
- стоимость обслуживания - плата за обучение правилам эксплуатации изделия, обслуживающему персоналу, охране и т. п.;
- стоимость ремонта и утилизации (затраты на содержание специалистов-ремонтников и гарантийных мастерских, демонтаж изделия и его вывоз на свалку или перерабатывающий завод);
- различные отчисления - страховые, оплата налогов, плата за вредные выбросы, накладные расходы, амортизационные отчисления и другие.

Эффективность применения изделия может характеризоваться:

- абсолютной экономической эффективностью. Подсчитывается как разность между доходом от использования изделия и суммарными расходами, т. е. как Д-(Ц+Р),
- рентабельностью эксплуатации изделия. Определяется как отношение полезной отдачи к сумме начальных и текущих расходов, т. е. как I/(СЦ+Р). Если изделие предполагается использовать в качестве средства производства, то это отношение должно быть больше единицы (не приносить убыток);
- коэффициентом эксплуатационных расходов. Определяется как отношение текущих расходов к стоимости изделия, т.е. Р/Ц. Величина, обратная этому коэффициенту, называется коэффициентом стоимости изделия;
- коэффициентом полезной отдачи. Определяется как отношение функционального параметра Ф (развиваемая мощность, масса изделия, его грузоподъемность и т.п.) к сумме начальных и текущих расходов, т. е. Ф/(Р+Ц), либо только к цене изделия, т.е. Ф/Ц;
- периодом окупаемости. Определяется как отношение суммы всех расходов к полезной отдаче в течение года.

Оценка эффективности разработчиком позволяет ему спрогнозировать конкурентоспособность, определить направления ее повышения и, в итоге, обосновать необходимость выпуска продукции. Для получения такой оценки часто приглашают экспертов и проводят анализ аналогичной продукции [8].

2.4.3. Проектные и производственные требования

2.4.3.1. Техническое регулирование. Технические регламенты. Стандартизация

Работы по стандартизации в Российской Федерации осуществляются на основе федерального закона «О техническом регулировании» [34], статьи которого определяют основные понятия технического регулирования, цели и принципы технического регулирования, положения о технических регламентах и стандартах. Данный закон определяет правовое регулирование отношений, возникающих при разработке и применении (рис. 2.21).

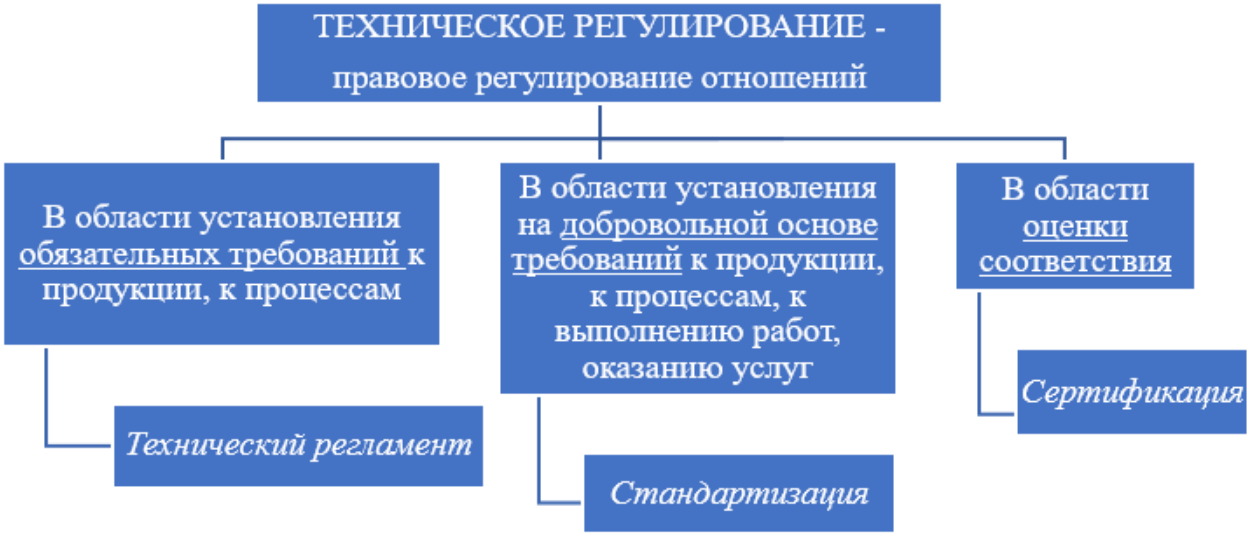


Рис. 2.21. Правовое регулирование отношений при техническом регулировании

Требования к оценке технического регулирования закрепляются техническим регламентом и стандартами.

Технический регламент – документ, который принят международным договором Российской Федерации, или федеральным законом «О техническом регулировании» [34], или указом Президента Российской Федерации, или постановлением Правительства Российской Федерации, или нормативным правовым актом федерального органа по техническому регулированию. Технический регламент устанавливает обязательные для исполнения требования к продукции при применении единых правил, определяющих эти требования, и в соответствии с уровнем развития национальной экономики. Технический регламент устанавливает минимально необходимые требования,

обеспечивающие различные виды безопасности: безопасность излучений, биологическую безопасность, взрывобезопасность, механическую безопасность, пожарную безопасность и другие виды.

Знаки обращения в РФ (табл. 2.2) являются графическими символами, визуально подтверждающими соответствие товара требованиям конкретного регламента, который регулирует в России его качество и безопасность. Официально установленными знаками являются графические символы СТР – знак соответствия техническому регламенту РФ, ЕАС – таможенному союзу.

Знак соответствия (табл. 2.2) применяется в соответствии с правилами системы сертификации, говорит о том, что определенный товар, процесс или услуга соответствует определенному стандарту или иному нормативному документу. На знаке обязательной сертификации РСТ размещается информация об органе по сертификации, выдавшем сертификат. Различают обязательную и добровольную сертификацию.

Таблица 2.2 – Знаки обращения в Российской Федерации

№ п/п	Изображение знака	Тип знака	Примечание
1		Знак обращения – знак соответствия техническому регламенту	Российская Федерация
2			Таможенный союз
3		Знак соответствия – знак соответствия национальному стандарту или системе добровольной сертификации	Обязательная
4			Обязательная
5			Добровольная

Стандартизация - это введение и применение официально утвержденных правил (стандартов) с целью упорядочения деятельности в определенной области. Стандарты разрабатывают на наиболее распространенные и типовые ситуации. Они могут относиться к выбору параметров и видов технических систем и их частей (например, стандарты на резьбы, асинхронные двигатели), процедур и методик расчетов (например, стандарты на проведение расчетов механических зубчатых передач, механических испытаний материалов). Все правила до оформления их в стандарты проходят длительную проверку на практике и поэтому заключают в себе богатый опыт предшествующих поколений инженеров и ученых [9].

В настоящее время существуют два официальных определения понятия «стандарт», содержащиеся в Законе «О стандартизации» [35] и в Законе «О защите прав потребителей» [32]. Последний расширяет понятие «стандарт», включая в него, кроме собственно стандарта, и иные нормативные акты (санитарные нормы и правила, строительные нормы и правила и другие документы).

Стандартизация – деятельность по установлению правил и характеристик в целях их добровольного многократного использования, направленная на достижение упорядоченности в сферах производства и обращения продукции и повышение конкурентоспособности продукции, работ или услуг [34]. К объектам стандартизации можно отнести (рис.2.22):



Рис.2.22. Объекты стандартизации

По степени общности и обязательности к применению стандарты подразделяются на следующие:

- ГОСТы (государственные стандарты). Устанавливаются для наиболее типовых объектов и процедур, обязательны к соблюдению на всей территории выпустившего их государства. В настоящее время разные государства стремятся к согласованию национальных стандартов и выпуску международных стандартов (например, стандарт международной организации ISO на допуски и посадки), что упрощает обслуживание и ремонт экспортной продукции, облегчает продвижение товара на внешние рынки;

- ОСТы (отраслевые стандарты). Обязательны к соблюдению в выпустивших их отраслях промышленности. Более узкого круга действия. Обычно типовые ситуации оформляются в виде ОСТов и затем, после дальнейшей практической проверки и подтверждения своей важности, выпускаются в виде ГОСТов;

- СТП (стандарт предприятия). Имеют применение только на выпустившем их предприятии. Часто оформляются в виде нормалей, которые устанавливают ограничения на применяемую номенклатуру (перечень) деталей, материалов, норм и т.п., что вызывается особенностями снабжения и производства, и технических условий.

Требования стандартов предприятий могут быть обязательными и для других предприятий, если между этими предприятиями существуют договорные отношения, в том числе устанавливающие обязательность исполнения определенного круга стандартов одного из предприятий.

Применение стандартных узлов и деталей ведет к снижению себестоимости продукции, поскольку:

- позволяет экономить время и средства за счет использования уже разработанных типовых ситуаций и объектов;

- повышает надежность изделия или результатов расчетов, поскольку применяемые технические решения уже неоднократно проверены на практике;

- упрощает ремонт и обслуживание изделий, так как стандартные узлы и детали - взаимозаменяемые (при условии, что сборка осуществлялась без пригоночных операций).

Эффективность от следования стандартам может быть незначительной или же вообще отрицательной при разработке изделий с очень высокими эксплуатационными характеристиками. Например, оптимальные значения параметров не всегда соответствуют стандартным значениям.

Различают стандартизацию конструктивную и технологическую. Конструктивная стандартизация подразумевает использование стандартных конструктивных решений - параметров, деталей и узлов. Технологическая стандартизация основана на применении стандартного инструмента и оборудования, технологического процесса.

Уровень конструктивной стандартизации изделия выражается коэффициентом, равным отношению числа стандартных узлов и деталей к общему их количеству, определяемому по спецификации. Возможна оценка этого коэффициента по отношению массы или стоимости стандартных деталей к общей массе или стоимости всего изделия.

Стандартизации конструктивная и технологическая взаимосвязаны. На этапе проектирования уровень технологической стандартизации можно повысить следующими способами:

- номинальные размеры деталей должны соответствовать размерам, получаемым при использовании стандартного инструмента (диаметры и шаги резьбы, модули зацепления, радиусы галтелей и т.д.), либо величинам из ряда

предпочтительных чисел (поскольку, например, диаметры сверл тоже соответствуют таким значениям);

- посадки и отклонения размеров деталей должны быть стандартными. Это особенно касается сопряжения стандартных деталей (например, подшипников качения) и назначения допусков на отверстия (в целях применения стандартных сверл);

- назначать материалы со стандартными значениями параметров (состав, физико-химические свойства);

- применять стандартные формы и параметры технологических элементов - фасок, галтелей, проточек, - получаемые типовым инструментом [6].

Можно выделить следующие результаты стандартизации (рис.2.23):



Рис.2.23 Основные результаты стандартизации

2.4.3.2 Унификация

Унификация – это устранение излишнего многообразия посредством сокращения перечня допустимых параметров, элементов и решений. Как и стандартизация, унификация бывает конструктивная (многократное применение в конструкции одних и тех же деталей, узлов, форм поверхностей) и технологическая (сокращение номенклатуры используемого при изготовлении изделия инструмента и оборудования, например все отверстия имеют одно или ограниченное количество величин диаметров, или все обрабатывается только на токарном станке, или применение одной марки материала). Унификация позволяет повысить серийность операций и выпуска изделий и, как следствие, удешевить производство, сократить время на его подготовку. С другой стороны, унификация ведет к увеличению габаритов, массы, снижению КПД и т. п. вследствие неоптимальных значений используемых параметров и изделий. Целесообразность унификации подтверждается на основе сравнения разных вариантов технических решений и соответствующего им соотношения затрат и выгод [7]. Взаимосвязь унификации и стандартизации можно представить в виде схемы на рис.2.24.

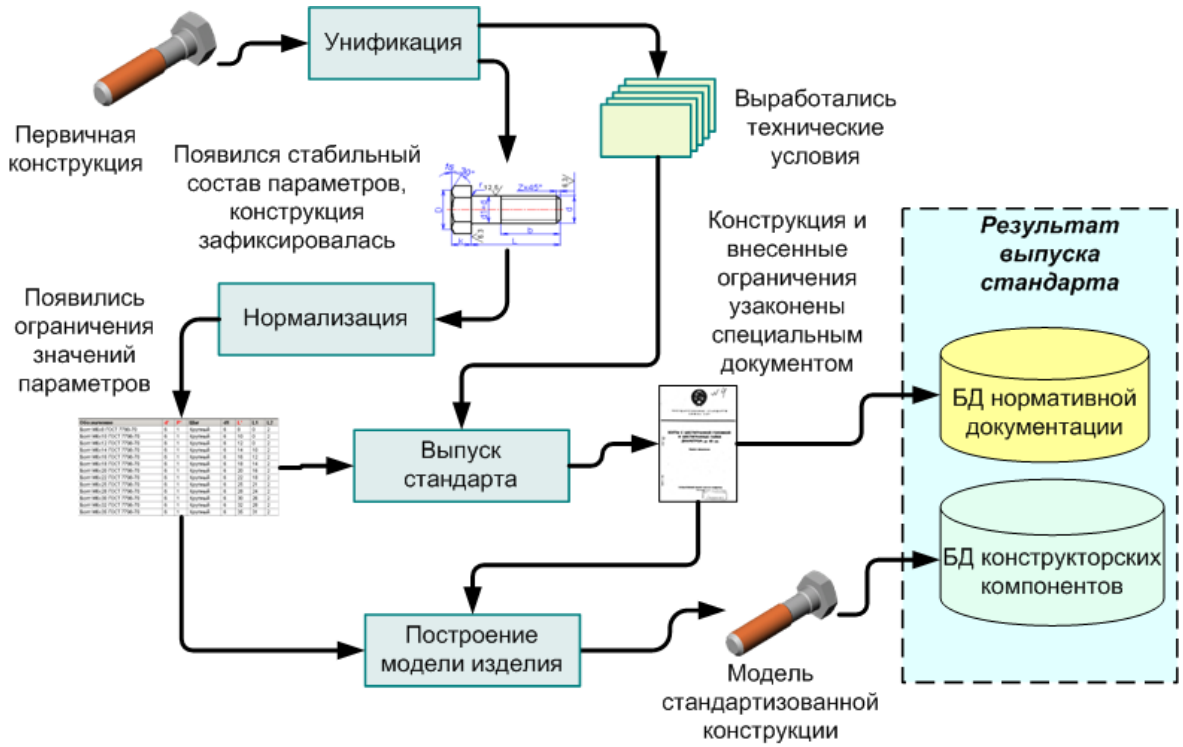


Рис.2.24. Взаимосвязь унификации и стандартизации

Оценить степень унификации изделия со всех сторон достаточно трудоемко. Степень унификации может подсчитываться:

- для всего изделия, например, как отношение числа унифицированных элементов (деталей, узлов, поверхностей) к общему их числу в конструкции;

- для определенной группы используемых элементов - например, степень унификации стандартных подшипников качения как отношение числа типоразмеров использованных подшипников к общему их числу;

- для характеристики частоты встречаемости параметров деталей, например, как отношение числа типоразмеров определенного вида параметров (числа разных параметров резьб, диаметров отверстий и т.п.) к общему их числу.

Возможна оценка степени унификации по отношению массы или стоимости унифицированных деталей к общей массе или стоимости всего изделия [8].

Заранее заложенная в конструкцию унификация упрощает последующее совершенствование и приспособление таких изделий к новым условиям.

В зависимости от целей, задач и конкретных способов реализации следует различать три вида унификации: заимствование, построение рядов, сокращение (симплификация).

Унификация заимствованием – это использование в каком-либо изделии при его проектировании ранее разработанных деталей, узлов, элементов конструкций, технологических процессов и т. п. Заимствование может проводиться как из предыдущих моделей данного изделия, так и из изделий другого функционального назначения [36]. Унификация построением рядов – это построение оптимальных рядов изделий, которые по своему

функциональному назначению заменяют неунифицированные изделия. В этом случае разрабатываются типовые решения для создания новых изделий, процессов или проведения соответствующих работ. Такой вид унификации используется тогда, когда предполагается полная или существенная смена изготавливаемой продукции. Результатом разработки типовых решений будут унифицированные детали, узлы, технологические операции и процессы, агрегаты, базовые конструкции и базовые изделия, ряды изделий, параметров и т. д. [37] (рис.2.25).



Рис. 2.25. Общая классификация унифицированных изделий

Существуют следующие направления создания унифицированных конструкций:

- выделение базового агрегата. Разнообразие получаемых изделий основывается на наличии у них общей, базовой части (агрегата) и дополнительных частей, создающих это разнообразие. Например, разные по виду сплит-системы могут обладать одним и тем же компрессором и двигателем (эго базовый агрегат);
- компаундирование. Увеличение производительности изделия достигается параллельным присоединением и одновременной работой ряда однотипных изделий. Например, подключение дополнительных насосов, установка второго компрессора (а не увеличение мощности прежнего);
- модифицирование. Это - приспособление уже выпускаемого изделия к новым условиям без изменения в них наиболее дорогих и ответственных частей. Например. замена материала корпуса асинхронного двигателя на другой с целью возможности эксплуатации его в новых климатических условиях;
- агрегатирование (принцип модульности). Новое изделие создается на основе комбинации уже имеющихся унифицированных агрегатов, которые

обладают полной взаимозаменяемостью по эксплуатационным показателям и присоединительным размерам [9].

Для наглядности направления и виды унификации можно представить в виде схемы (рис.2.26).



Рис. 2.26. Направления унификации

2.4.3.3 Преемственность

Преемственность - это продолжение использования в новом изделии элементов еще выпускающегося или уже выпускавшегося изделия с сохранением прежней технологии их производства. Преемственность значительно сокращает сроки и затраты на технологическую подготовку производства и проведение испытаний новой конструкции, повышает ее надежность (благодаря применению уже проверенных в эксплуатации частей). Она особенно эффективна при выпуске продукции, требующей специальной технологической подготовки, т. е. изготовления специального инструмента и приспособлений, наладки оборудования (это обычно связано с поточным производством). Преемственность позволяет постепенно, без больших затрат перейти на выпуск новой сложной продукции.

Степень преемственности характеризуется коэффициентом, равным отношению числа наименований используемых в изделии уже выпускающихся элементов, к общему числу наименований элементов. Коэффициент определяется по таблице составных частей, входящей в комплект чертежа общего вида. Для нового изделия обычно он составляет 0,7...0,9 [6].

Разновидностью преемственности является использование готовых покупных элементов в разрабатываемом изделии. Это сильно снижает требования к необходимым для его выпуска ресурсам (применяется при слабой производственной базе, для ускорения выпуска продукции на рынок, но усиливает зависимость от производителя этих элементов). Целесообразность

применения готовых элементов подтверждается сравнением затрат на покупку нужных элементов с затратами на организацию их производства собственными силами [9]. ГОСТ 2.124-2014 — межгосударственный стандарт «Единая система конструкторской документации. Порядок применения покупных изделий» [38] устанавливает единый для всех отраслей промышленности порядок применения покупных изделий отечественного и импортного производства в разрабатываемых объектах.

2.4.3.4 Технологичность

Изготавливаемость и собираемость - обязательное условие реализуемости конструктивного решения. Технологичность же заключается в возможности выпуска изделия (изготовления и сборки с заданным уровнем качества) с наименьшими производственными затратами и в кратчайшие сроки. Технологичность закладывается в конструкцию при соответствующем назначении параметров деталей (материала, размеров и их отклонений, шероховатости и т. п.), форм и взаимного расположения поверхностей их элементов. Технологичность базируется на стандартизации, унификации и преемственности. Во многих случаях только возможности технологии (воплощающей в себе достижения науки и техники) позволяют достичь уникальных результатов и высоких потребительских свойств.

Технологичность - понятие относительное, на нее влияют место изготовления, серийность, доступное оборудование, привлекаемый персонал, развитость межхозяйственных связей и многое другое.

Технологичность базируется на выполнении следующих условий на этапе изготовления:

• разработка конструкции с одновременной ее ориентацией на конкретные производственные мощности, т.е. кто, где и на каком оборудовании будет изготавливать и собирать спроектированное изделие;

• выбор материала не только из функциональных требований к изготавливаемой из него детали, но и из условия обрабатываемости, т. е. допустимости обеспечения заданной твердости, прочности, точности, качества поверхности, отсутствия побочных эффектов (коробления, коррозии, старения и т. д.);

• назначение форм поверхностей деталей, максимально приближенных к формам типового проката либо учитывающих особенности получения заготовки (уклоны, переходы, галтели, припуски и т. п.);

• обоснование назначения степени точности и чистоты поверхностей деталей - сочетание методов полной и частичной взаимозаменяемости, рациональное составление размерных цепей, согласование параметров точности и шероховатости поверхностей, отклонения их форм и расположения;

• использование параметрической стандартизации и унификации;

• обеспечение удобства базирования деталей при обработке, совмещение при простановке размеров конструктивной, технологической и измерительной баз;

• простановка размеров с учетом особенностей обработки детали, т. е. под конкретное оборудование и инструмент, определенную последовательность операций;

• конструирование деталей простых форм поверхностей, с симметричным расположением и возможностью непрерывной их обработки;

• унификация и стандартизация форм деталей, приведение их в соответствие с возможностями оборудования;

• обеспечение возможностей подвода-отвода инструмента при обработке каждой поверхности;

• возможность одновременной обработки нескольких деталей;

на этапе сборки:

• обеспечение удобства захвата и транспортировки деталей и узлов;

• обеспечение простых траекторий взаимного движения элементов при сборке - поступательное и вращательное;

• обеспечение взаимозаменяемости элементов, отсутствия пригоночных и регулировочных работ;

• обеспечение естественности сборочных движений (наличие направляющих и упоров);

• обеспечение возможности параллельной и поузловой сборки. Сочленение одних узлов не должно мешать сборке других узлов, а их регулировка - нарушать регулировку всего изделия.

Технологичность тесно связана с типом производства:

- единичное производство: используется универсальное оборудование (токарно-фрезерное, сварочное и слесарное), типовые инструмент и приспособления. Ускорение работ достигается благодаря применению станков с ЧПУ, унификации, стандартизации и преемственности;

- серийное производство: целесообразно создание специального инструмента и приспособлений (формы для литья, штампов, заточка инструмента и т. п.). Эффективно применение гибких автоматизированных производств (ГАП);

- массовое производство: целесообразно создание специального оборудования и производственных процессов.

Технологичность конструкции наиболее точно характеризуется себестоимостью изделия. Дополнительными характеристиками являются степень унификании используемых материалов и элементов поверхностей, номенклатура оборудования, степени точности и чистоты поверхностей.

Технологичность тесно связана с людьми, которые работают на производстве, с их уровнем культуры и образования. С ними, в свою очередь, связаны понятия производственной дисциплины и культуры производства, базирующиеся на традициях предприятия-производителя и страны-

изготовителя, их морально-этическими нормами (ответственность, законопослушность и т. д.) [9].

Основные показатели технологичности представлены на рисунке 2.27.



Рис.2.27. Основные показатели технологичности и характеризуемые ими свойства

Требования к технологичности конструкции изделия регламентированы:

- ГОСТ 14.205-83 — устанавливает термины и определения основных понятий по технологичности конструкции изделий машиностроения и приборостроения [29].
- ГОСТ Р 71362-2024 — национальный стандарт РФ «Система технологической подготовки производства. Организация работ по оценке технологичности конструкции изделия» [40].

Примером технологичности изделия может служить концепт модульной конструкции смартфона, которая повышает его технологичность путем использования модулей для сборки и замены [41].



Рис. 2.28. Пример технологичности изделия – модульность смартфона [41]

Технологичность в холодильной технике проявляется в использовании инновационных решений в разных аспектах: в компрессорах, системах охлаждения, управлении и выборе хладагентов. Эти технологии направлены на повышение эффективности, экологичности и безопасности оборудования [42].

2.4.3.5 Транспортабельность

Транспортабельность - это свойство изделия, позволяющее с минимальными затратами перемещать его в пространстве (от производителя к продавцу и, далее, к потребителю). Сложности с транспортировкой возникают у громоздких и тяжелых изделий и изделий, чувствительных к перемещению (хрупких, высокоточных и т. п.).

Для тяжелых изделий предусматривают наличие приспособлений для подъема и перемещения груза. При этом конструкция должна быть прочной и жесткой, допускающей ее подъем и перенос, а такелажные приспособления - не увеличивать размеры изделия и не ухудшать его вид.

Размеры и формы изделия должны проектироваться, в том числе, под возможный способ его доставки на место назначения, что подразумевает:

- ориентацию на определенный вид транспорта;
- если габариты уменьшить нельзя, то конструкцию выполняют составной с последующей сборкой на месте эксплуатации посредством простых монтажных операций (принцип агрегатности) и с минимумом затрат на регулировку;
- обеспечение жесткости и виброустойчивости;
- введение специальных частей для стопорения изделия и погрузочно-разгрузочных (такелажных) работ;
- защиту полостей и выступающих частей, предохранение от коррозии;
- создание соответствующей упаковки.

Транспортировка изделий, чувствительных к перемещению, требует применения специальных приспособлений и тары [6]. Примеры транспортировки представлены на рис.2.29, рис.2.30.

Транспортировка хладагентов регулируется правилами перевозки опасных грузов, поскольку они классифицируются как опасные грузы, чаще всего 2 класса опасности. Нормативные требования включают: соблюдение правил ДОПОГ (для автомобильных перевозок), использование специальной маркировки, соответствующей тары (UN) и надлежащее оформление документации. Необходимо соблюдать правила погрузки/разгрузки и иметь соответствующую подготовку у водителя для перевозки опасных грузов.



Рис. 2.29. Пример упаковки, транспортировки и доставки к месту монтажа чиллера



Рис.2.30 Пример транспортировки турбины

Нормативными документами, регулирующими транспортировку различных грузов, являются Постановления Правительства, Приказы Минтранса и иные нормативные документы. Например, для генеральных грузов существует ГОСТ 26653–2015 «Подготовка генеральных грузов к транспортированию. Общие требования» [43].

2.4.3.6 Сохраняемость

Сохраняемость - это способность изделия быть независимым (защищенным) от неблагоприятных воздействий внешней среды (климатических, случайных или преднамеренных). Достигается нанесением покрытий или использованием упаковки (тары). Форма изделия должна

обеспечивать минимальные габариты и простоту формы тары, возможность легкого удаления защитных покрытий, необходимую степень герметичности и использования объема внутри тары [6]. Примеры сохраняемости представлены на рис.2.31, рис.2.32.



Рис.2.31. Пример сохраняемости хладагентов



Рис.2.32. Пример сохраняемости деталей в смазке и в защитной упаковке

2.4.3.7 Функциональные требования

Функциональные требования включают:

- требования производительности, показатели необходимой мощности, грузоподъемности, развиваемой скорости и другие, которые характеризуют выполняемую функцию;

- требования эффективности, которыми характеризуют степень эффективности использования изделия по назначению, например, показатели энергетические (КПД, потери), кинематические (точность перемещения), силовые (стабильность нагрузки) и т. п.;

- конструктивные требования, которыми характеризуют массо- и габаритные показатели.

Функциональные требования обязательно должны быть введены в техническое задание.

Часто их приводят в виде относительных величин (например, удельный момент редуктора, равный отношению крутящего момента на выходе редуктора к его массе) [8].

2.4.3.8 Надежность

При проектировании проводится анализ разрабатываемой системы (изделия) на степень надежности. Надежность - это свойство изделия сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, ремонтов, хранения и транспортирования.

С течением времени значения параметров изменяются. Если изменения некоторых параметров превышают допустимые пределы, то первоначально исправное изделие, состояние которого соответствовало всем требованиям проектной документации, становится неисправным. При этом, если показатели назначения остались в установленных пределах (изделие и дальше способно выполнять заданные функции), то состояние оценивается как работоспособное. Событие, которое вызвало нарушение исправного состояния изделия при сохранении его работоспособности, называется повреждением. Так, например, изделие может быть работоспособным, но неисправным при ухудшении внешнего вида, не препятствующем его дальнейшему применению по назначению.

В случае наступления отказа изделие переходит в неработоспособное состояние. Примерами отказов могут служить значительное падение КПД изношенной машины, поломка зуба, недопустимое ослабление затяжки резьбовых соединений, повреждение сосуда коррозией.

В машинах отказы в основном имеют механическое и физико-химическое (коррозия, эрозия, адсорбция) происхождение. Отказы могут возникать случайно или в результате постепенного необратимого накопления повреждений.

Случайный выброс вызывается резкими нерасчетными перегрузками, природными воздействиями, не поддающимися прогнозу, грубыми ошибками при проектировании или эксплуатации. С подобными отказами бывают связаны следующие явления:

- хрупкое разрушение. Наблюдается при низкой температуре или действии на детали из хрупких материалов (с малой вязкостью) ударных нагрузок (например, раскалывание колец подшипников качения). Обязательно учитывается при проектировании криогенной аппаратуры;

- пластическое течение. Возникает в деталях, в основном, из вязких материалов (например, обмятие шпонок, шпоночных канавок и шлицев, вытяжка болтов);

- потеря устойчивости и превышение допустимых значений упругой деформации (недостаточная жесткость) [6].

О характере разрушения можно судить по виду излома. Вязкий излом имеет матовый цвет и волокнистое строение. Хрупкий излом – светлый с характерным кристаллическим строением. Более детально о характере разрушения судят по исследованиям структуры изломов с помощью растрового электронного телескопа (рис.2.33).

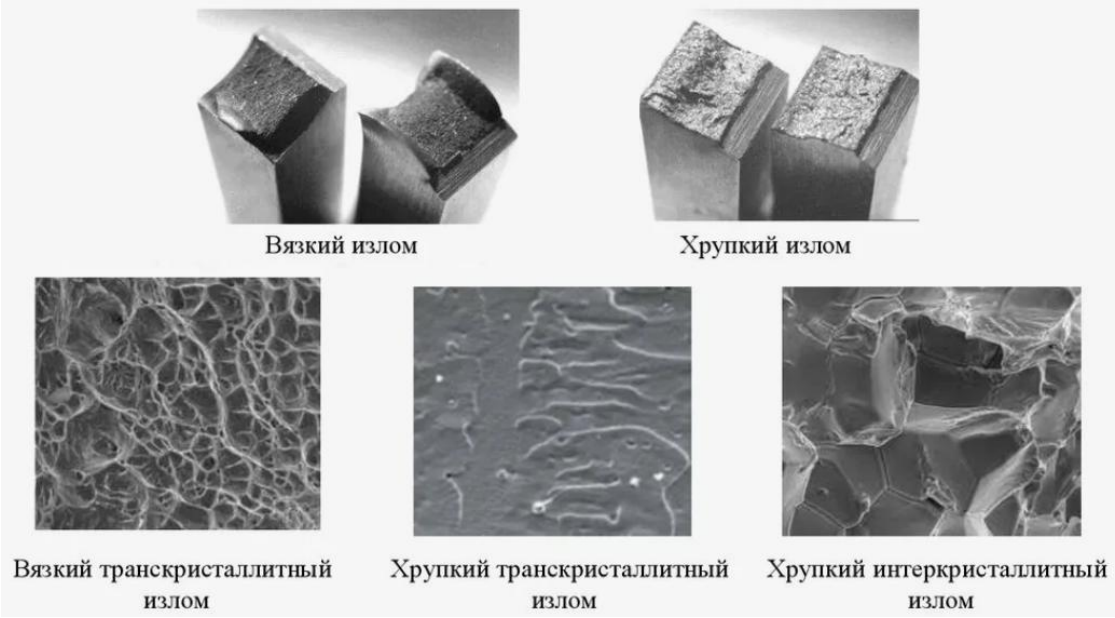


Рис.2.33. Примеры характера разрушений

Жесткость характеризуется изменением формы и размеров элементов конструкции под действием внешних нагрузок. В ряде случаев размеры проектируемой конструкции определяются не ее прочностью, а жесткостью. Например, из условия жесткости оценивают параметры и форму корпусов. Жесткость машин подразделяется на объемную (например, прогиб вала) и контактную (например, контактная деформация пары взаимодействующих зубьев колес). Объемную жесткость можно повысить выбором рациональных сечений, типов и расположением опор, работой элементов конструкций на растяжение-сжатие. Контактная жесткость зависит от формы контактирующих поверхностей, качества их обработки (точность формы, шероховатость), создания предварительного натяга [6]. Схематично примеры представлены на рис.2.34, рис.2.35.

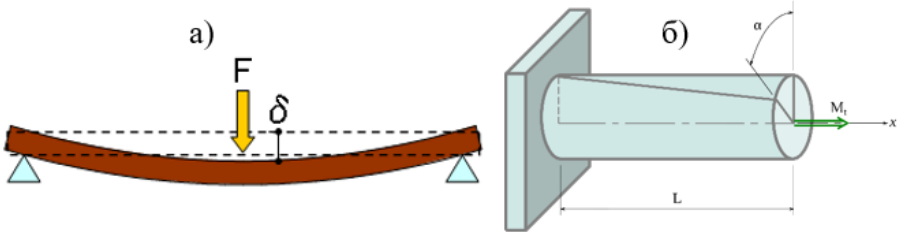


Рис.2.34. Примеры объемной жесткости: а) жесткость при изгибе; б) жесткость при кручении

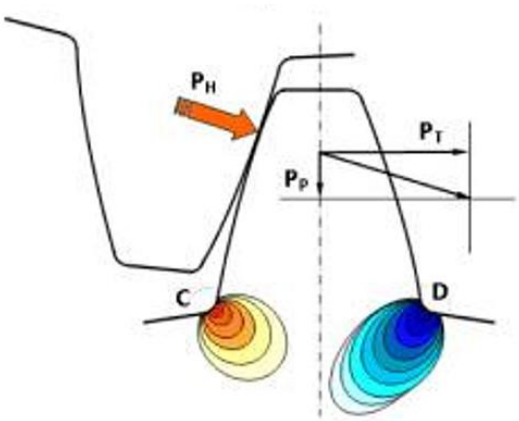


Рис.2.35. Пример контактной жесткости (схема к определению контактной деформации зубьев и распределение напряжений в корне зуба) [44]

- потеря вибропрочности и виброустойчивости. Вибропрочность характеризует способность изделия противостоять разрушающему действию вибраций в заданных диапазонах частот и оставаться работоспособным после длительного воздействия вибрации. Виброустойчивость характеризует сохранение работоспособности изделия в условиях вибрационных нагрузок, что связано с возникновением недопустимых колебаний при работе машины в рабочем диапазоне режимов. Особую опасность вызывает резонанс. Расчет на колебания обычно проводится для всей системы. Разделяют вынужденные колебания, вызываемые внешними периодически действующими силами (например, неуравновешенность вращающихся деталей), и автоколебания (самовозбуждающиеся незатухающие колебания, поддерживаемые за счет источников энергии, не обладающих колебательными свойствами) [6]. Данное явление регламентируется нормативными документами, такими как ГОСТ Р ИСО 13373-1-2009 часть 1 и часть 2 [35, 36] и т.д. К системам вентиляции и кондиционирования воздуха применяется межгосударственный стандарт ГОСТ 30434-96 «Оборудование для кондиционирования воздуха и вентиляции. Нормы и методы контроля виброустойчивости и вибропрочности» [47].

Отказы, возникающие в результате постепенного необратимого накопления повреждений, составляют основную группу случаев наступления предельных состояний нормально эксплуатируемых изделий. С подобными отказами связаны следующие явления:

- ползучесть (рис.2.36). Наиболее заметно проявляется при высоких температурах и длительном действии больших нагрузок (например, детали турбин, котлов, лопаток и дисков насосов) и у пластмасс (это ограничивает их применение в качестве материалов точных деталей). В деталях с заданными постоянными деформациями возникает релаксация напряжений, т. е. постепенное снижение первоначального уровня напряжений (например, ослабление затяжки напряженных резьбовых соединений);



Рис.2.36. Пример ползучести материала. Труба на электростанции (от трещины до разрыва) [48]

- усталостное разрушение (рис.2.37). Наступает в результате накопления необратимых механических изменений при приложении циклических нагрузок. Процесс начинается с развития усталостных микротрещин и заканчивается внезапным разрушением при достижении ими критических величин. Способность материалов и конструкций сопротивляться действию циклических нагрузок называется выносливостью.



Рис.2.37. Разрушение шатуна из алюминиевого сплава. Тёмная зона: усталостное разрушение. Светлая зона: область хрупкого излома

Наблюдаются следующие виды изнашивания:

- механическое (рис.2.38). Наступает в результате механического воздействия. Усталостное изнашивание связано с усталостным разрушением при повторяющемся деформировании поверхностного слоя (например, выкрашивание дорожек и тел качения в подшипниках). Абразивное выкрашивание наступает в результате царапающего или режущего действия на

деталь твердых частиц, находящихся в свободном состоянии (например, износ вкладыша подшипника скольжения при попадании вместе со смазкой в трущуюся пару абразивных частиц);



Рис. 2.38 Примеры механического изнашивания деталей

- молекулярно-механическое. Проявляется в схватывании и заедании контактирующих поверхностей (например, в зацеплении червячной передачи);

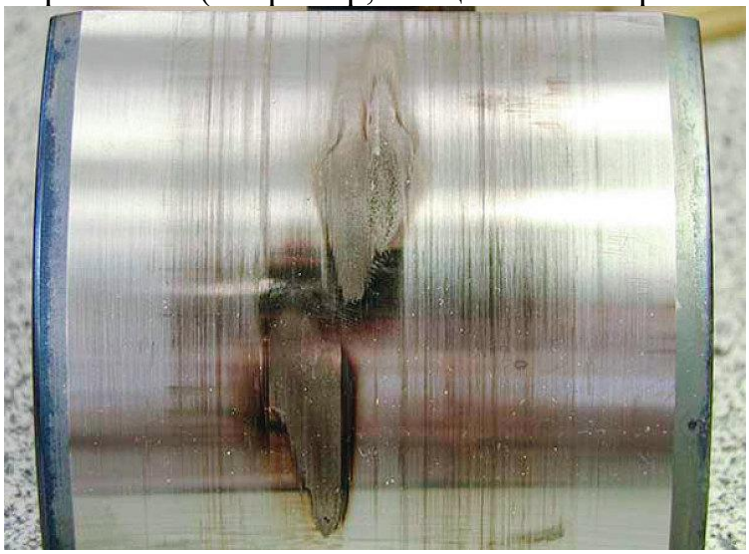


Рис.2.39 Пример молекулярно-механического (адгезионного) изнашивания – задиры

- коррозионно-механическое. Проявляется в срыве продуктов коррозии и защитных окисных пленок механическим воздействием;



Рис.2.40 Пример коррозионно-механического изнашивания

- кавитация. Проявляется в поверхностном разрушении деталей в высокоскоростном турбулентном потоке жидкости. Изнашивание снижает точность устройств, КПД, ведет к утечкам газа, повышению шума быстроходных машин, падению прочности вследствие утончения сечений и возрастания динамических нагрузок и т. п. [6]

Перечисленные виды повреждений не являются исчерпывающими. В совокупности можно составить общую классификацию повреждений различного типа для деталей и конструкций (рис.2.42).

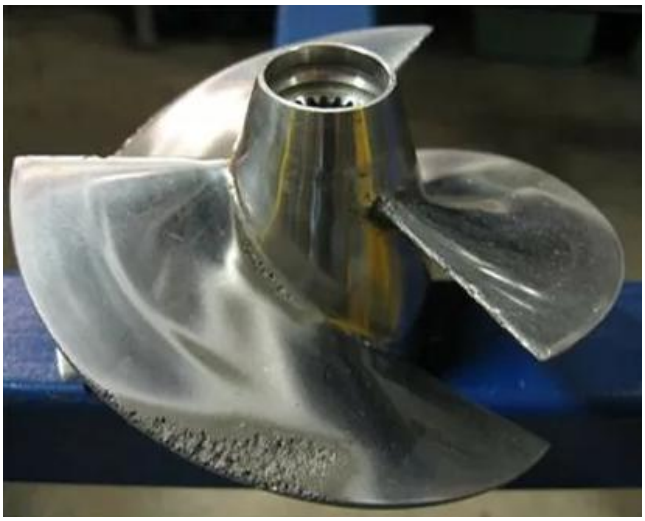


Рис.2.41 Пример кавитационного изнашивания детали



Рис. 2.42. Виды повреждений

В процессе проектирования все вышеперечисленные факторы должны учитываться при принятии соответствующих конструкторских решений.

Проектная надежность машин рассчитывается в соответствии с теорией надежности. Основная задача теории надежности в процессе проектирования заключается в оценке вероятности безотказной работы на заданном периоде времени и выборе таких параметров системы (материалов, конструктивных форм, технологических операций и т. п.), чтобы обеспечить плановые показатели долговечности. При этом долговечность отдельных частей должна согласовываться с долговечностью всего изделия. Надежность технической системы, определяемая надежностью составляющей ее частей, узлов и деталей, также зависит и от схемы их соединения.

Надежность проектируемого изделия обеспечивается путем использования рекомендованных в литературе допускаемых напряжений, нормативных коэффициентов запаса и др. Естественно, что значение коэффициента запаса должно быть не меньше нормативно допустимого, величину которого выбирают по рекомендациям в соответствии с внешними факторами (нагрузка, климатические воздействия и т.д.) в условиях производства и эксплуатации.

Повысить надежность проектируемого изделия можно также путем:

- упрощения конструкции, считая, что чем меньше элементов, тем выше надежность системы;
- применением стандартных и покупных элементов с известной (стабильной и проверенной на практике) надежностью;
- повышением коэффициентов запаса;
- созданием избыточности за счет резервирования (дублирования) элементов.

С другой стороны, практически абсолютно надежное изделие экономически нецелесообразно, так как затраты на его разработку и изготовление не будут соответствовать возможной выгоде, а также не выгодно, чтобы срок эксплуатации был значительно выше срока морального устаревания.

Система техобслуживания и ремонта проектируемого изделия должна ориентироваться на уже действующие системы либо разрабатываться совместно с этим изделием [6].

2.4.3.9 Эргономичность

Эргономичность содействует созданию изделий с высокими социальными результатами: сохранение здоровья людей посредством повышенного удобства эксплуатации, всестороннее развитие человеческой личности, обеспечение высоких потребительских свойств и эффективности деятельности человека.

Выделяют следующие эргономические свойства изделий:

- управляемость - распределение функций человеко-машинных систем в соответствии с психофизиологической структурой деятельности человека, уменьшение напряженности человека при большой эффективности управления, соответствие ритмов трудовых процессов;

- обслуживаемость - соответствие конструкции изделия оптимальной психофизической структуре человека в процессе эксплуатации, обслуживания и ремонта;

- освояемость - способность быстрого приобретения навыков по управлению изделием;

- обитаемость - приближение условий функционирования к биологически оптимальным параметрам внешней среды, при которых человеку обеспечиваются оптимальное (нормальное) развитие, хорошее здоровье и высокая работоспособность, уменьшение или ликвидация вредных последствий для окружающей среды при эксплуатации изделия.

Изделие должно быть эргономичным не только в процессе эксплуатации, но и в процессе изготовления и сборки. Так, для облегчения транспортировки должны быть предусмотрены, например, крюки как у изделия в целом, так и у его наиболее громоздких частей [6].

Условно, нормативные документы (ГОСТы) в области эргономики можно разделить на следующие направления: эргономика помещений, эргономика машин и изделий, эргономика мультимедийных пользовательских интерфейсов, общие условия состояния человека. Некоторыми среди них являются ГОСТ Р ИСО 26800-2013 «Эргономика. Общие принципы и понятия» [49], ГОСТ Р ИСО 28803-2013 «Эргономика физической среды. Применение требований стандартов к людям с особыми потребностями» [50], ГОСТ Р ИСО 6385-2007 «Эргономика. Применение эргономических принципов при проектировании производственных систем» [51], ГОСТ Р ИСО 14915-1-2010 — «Эргономика мультимедийных пользовательских интерфейсов. Часть 1. Принципы проектирования и структура» [52] и т.д.

Немаловажным являются эргономика в системах вентиляции и кондиционирования воздуха [53] на этапе проектирования и монтажа (рис.2.43), а также эргономика производственных процессов (рис.2.44).



Рис.2.43. Эргономика систем вентиляции и кондиционирования



Рис.2.44. Эргономика производственных процессов

2.4.3.10 Безопасность

Проверка в процессе проектирования на безопасность изделия путем исключения возможных несчастных случаев ведется в следующих направлениях:

- что произойдет, если изделие или его часть выйдут из строя, как предохранить или минимизировать последствия для окружающих объектов и людей;

- что произойдет, если управляющий работой изделия или же случайно оказавшийся рядом человек предпримет по отношению к изделию те или иные действия;

- что произойдет, если изменятся условия эксплуатации (скачек мощности, резкое торможение и т. п.), внешние условия (рост температуры, изменение влажности) и т. п.

Безопасность повышается при установке или встраивании систем предохранения, блокировки, предупреждения и т. д.

Безопасность подразумевает безопасность самого изделия и используемых расходных материалов, пожаро- и электробезопасность, отсутствие токсичности, учет особенностей работы (высокая температура, давление) (рис.2.45) и т. д.

Изделие должно быть безопасным в течение всего жизненного цикла и установленного срока службы. При этом резолюция Генеральной Ассамблеи ООН 2015 г. [54] предусматривает, что изделия, предназначенные для потребления отдельными гражданами, должны быть безопасны не только при обычных условиях их использования по назначению, транспортирования, хранения и утилизации, но также и при любом ином разумном использовании.

Минимально приемлемый уровень безопасности устанавливают нормативные документы федеральных органов исполнительной власти, осуществляющих контроль над качеством и безопасностью товаров, такие как Ростехнадзор, Роспотребнадзор, ФМБА и другие. В ряде случаев для эксплуатации изделия или использования отдельных видов производства

необходимо получение соответствующих лицензий и разрешений, наличие инструкций по эксплуатации, действии при аварийных ситуациях [6].



Рис.2.35 Виды безопасности изделий

Существует ряд стандартов, направленных на обеспечение безопасности для изделий, оборудования и машин в целом, такие как ГОСТ EN 13478-2012 — «Безопасность машин. Противопожарная защита» [55], ГОСТ ЕН 1088-2002 — «Безопасность машин. Блокировочные устройства, связанные с защитными устройствами. Принципы конструирования и выбора» [56], ГОСТ EN 1299-2016 — «Колебания и удары механические. Виброизоляция машин. Указания по изоляции источников колебаний» [57] и т.д. Подобные документы направлены на разработку общих принципов и руководящих указаний, которые позволяют создавать машины, отвечающие требованиям безопасности при их использовании по назначению. Рассмотрим некоторые нормативные документы, связанные непосредственно с проектированием объектов холодильной индустрии (табл.2.3).

Таблица 2.3 Некоторые нормативные документы в области безопасности объектов холодильной индустрии

Область холодильной индустрии	Нормативный документ	Примечание
Кондиционирование воздуха	СП 60.13330.2020 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха» [58]	Документ разработан для обеспечения требований Федерального закона от 30 декабря 2009 г. №384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений». Распространяется на проектирование систем внутреннего тепло- и холодоснабжения, отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха в строящихся, реконструируемых или капитально ремонтируемых зданиях.
	СанПиН 2.2.4.548-96 санитарные правила и нормы «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений» [59]	Отражает некоторые положения, связанные с безопасностью. Позволяет предотвратить неблагоприятное воздействие микроклимата рабочих мест и производственных помещений на самочувствие, функциональное состояние, работоспособность и здоровье человека.
	ГОСТ Р 59972-2021 «Системы вентиляции и кондиционирования воздуха общественных зданий. Технические требования» [60]	Включён в Перечень документов в области стандартизации, в результате применения которых на добровольной основе обеспечивается соблюдение требований Технического регламента о безопасности зданий и сооружений.
Холодильная техника/промышленный холод	Федеральный закон от 21 июля 1997 г. №116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» [61]	Указывает на обязательные требования к обеспечению промышленной безопасности, предупреждению аварий и инцидентов на аммиачных холодильных установках и системах, на которых используются опасные вещества.
	Приказ Ростехнадзора от 8 ноября 2018 г. №539 «Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности „Правила безопасности аммиачных	Устанавливает обязательные требования, направленные на обеспечение промышленной безопасности, предупреждение аварий на аммиачных холодильных установках и системах

	холодильных установок и систем“» [62]	
	ГОСТ 33662.4-2015 (ISO 5149-4:2014) «Холодильные системы и тепловые насосы. Требования безопасности и охраны окружающей среды. Часть 4. Эксплуатация, техническое обслуживание, ремонт и восстановление» [63]	Устанавливает требования безопасности и охраны окружающей среды при эксплуатации, техническом обслуживании и ремонте холодильных систем, а также при рекуперации, повторном использовании, восстановлении и утилизации всех типов хладагентов, масел, теплоносителей.
	ГОСТ 34891.2-2022 «Системы холодильные и тепловые насосы. Требования безопасности и охраны окружающей среды. Часть 2. Проектирование, конструкция, испытания, маркировка и документация» [64]	Устанавливает требования к безопасности людей и имущества, предоставляет рекомендации по охране окружающей среды и определяет порядок действий при эксплуатации, техническом обслуживании и ремонте холодильных систем, а также при рекуперации.
	Приказ Министерства труда и социальной защиты РФ от 23 декабря 2014 г. №1104н «Об утверждении Правил по охране труда при эксплуатации холодильных установок» [65]	Регламентирует требования безопасности при эксплуатации холодильных установок, например, к размещению холодильного оборудования, хранению хладагента, обслуживанию холодильных установок.
	ГОСТ EN 378-1-2014. Межгосударственный стандарт. Системы холодильные и тепловые насосы. Требования безопасности и охраны окружающей среды Часть 1. Основные требования, определения, классификация и критерии выбора [66]	Устанавливает требования к безопасности людей и имущества, а также к охране атмосферы в помещениях и окружающей среды в целом.
	Стандарт ISO 13043 «Дорожный транспорт — холодильные установки, используемые в мобильных системах кондиционирования	Обеспечение соответствующего уровня компетентности, ограничения по объёму заправки хладагента, использование систем газообнаружения, сигнальных устройств и аварийной вентиляции и т.д.

	воздуха — Требования безопасности» [67]	
Хладагенты	ГОСТ 32968-2014 — межгосударственный стандарт «Оборудование холодильное. Агенты холодильные. Требования по применению и извлечению» [68]	Устанавливает требования к порядку выпуска в обращение, применению по назначению, хранению, упаковке, транспортированию, извлечению и переработке хладагентов, используемых в холодильных установках
	СП 2.2.3670-20 "Санитарно-эпидемиологические требования к условиям труда" [69]	Санитарные правила, которые касаются работы с хладагентами, например, требуют, чтобы участки технологического оборудования с использованием хладагентов имели ограждения, а металлические поверхности ручных инструментов, ручки и задвижки — были покрыты теплоизолирующим материалом.
	Приказ Минтруда России от 23.12.2014 №1104н «Об утверждении Правил по охране труда при эксплуатации холодильных установок» [70]	Документ устанавливает государственные нормативные требования охраны труда при эксплуатации стационарных холодильных установок, работающих на компрессорах объёмного действия по замкнутому циклу с использованием фреонов (хладонов) и их смесей в качестве холодильного агента.
	Монреальский протокол по веществам, разрушающим озоновый слой [71]	Регулирует поэтапное прекращение использования веществ, разрушающих озоновый слой (например, CFC и HCFC).
	Кигалийская поправка [72]	Вводит ограничения на использование гидрофторуглеродов (HFC), обладающих высоким потенциалом глобального потепления (GWP)
	Национальные стандарты и рекомендации	в России разрабатываются стандарты и рекомендации, направленные на постепенный переход к экологичным хладагентам
Криогенная техника	ГОСТ Р 71076-2023 — национальный стандарт Российской Федерации «Оборудование криогенное. Системы транспортирования и хранения жидкого водорода. Общие	Устанавливает требования к эксплуатации криогенных систем хранения и транспортирования жидкого водорода, распространяется на динамическое, ёмкостное, электрооборудование, трубопроводы, контрольно-измерительную аппаратуру

	требования к эксплуатации» [73]	
	ГОСТ Р 72092-2025 — национальный стандарт Российской Федерации «Техника криогенная. Агрегаты турбодетандерные. Общие технические требования» [74]	Устанавливает требования к проектированию, устройству, изготовлению, испытанию, монтажу и эксплуатации турбодетандерных агрегатов, предназначенных для понижения температуры потоков воздуха, азота, гелия и других негорючих газов
	ГОСТ Р 70068-2022 — национальный стандарт Российской Федерации «Насосы и агрегаты насосные для перекачки криогенных продуктов. Дополнительные требования безопасности» [75]	Устанавливает основные требования безопасности к конструированию, сборке, монтажу, эксплуатации, техническому обслуживанию и средствам автоматизации, защиты, сигнализации и контроля для насосов и насосных агрегатов, работающих в составе криогенных систем и установок
	Приказ Ростехнадзора от 28.11.2016 №500 — утверждает Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности при производстве и потреблении продуктов разделения воздуха» [76]	Устанавливает требования к устройству и размещению оборудования с жидкими криогенными продуктами, оснащению сосудов предохранительными устройствами
	ГОСТ 34294-2017 — межгосударственный стандарт «Арматура трубопроводная криогенная. Общие технические условия» [77]	Устанавливает требования к конструкции, материалам, изготовлению, комплектности поставки, маркировке и упаковке изделий, правилам приёмки, методам контроля и испытаний.
	ГОСТ Р 71145-2023 — национальный стандарт РФ «Сосуды криогенные стационарные. Общие технические условия» [78]	Устанавливает требования к конструкции, проектированию, изготовлению и эксплуатации криогенных сосудов, используемых для накопления, длительного хранения и выдачи потребителям жидких криогенных продуктов.
	Технологические инструкции	Учитывают требования проектной документации, правил и эксплуатационной документации разработчика. Например, в инструкциях могут быть указаны правила безопасности при сливе и заполнении криогенных продуктов,

		изоляции холодных участков оборудования.

2.4.3.11 Экологичность

При проектировании ряд требований экологичности регламентируется ГОСТ и СанПиН. С каждым годом роль требований экологичности все более возрастает, увеличиваются налоги, отчисления и штрафы за загрязнение окружающей среды, на восстановление природных ресурсов. Предполагают, что скоро эти требования станут одними из самых важных [6].

В общем случае, можно выделить следующие нормативные документы. ГОСТ Р 54906-2012 «Системы безопасности комплексные. Экологически ориентированное проектирование. Общие технические требования» [79] устанавливает общие принципы и технические требования по проектированию и эксплуатации комплексных систем безопасности объектов с учётом экологических аспектов в соответствии с действующим законодательством РФ, ГОСТ Р 57702-2017 «Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Требования к малоотходным технологиям» [80] устанавливает рекомендации по эффективному управлению процессами использования материальных ресурсов при разработке изделий и постановке продукции на производство и т.д. Нормативные документы, относящиеся в том числе, и к вопросам экологичности проектирования и эксплуатации объектов холодильной индустрии, представлены в табл.2.3. Экологичность в холодильной технике включает соблюдение законодательных требований, использование экологически безопасных технологий, применение экологичных хладагентов и сертификацию оборудования. Большое внимание уделяется применению экологичных хладагентов [42, 81, 82].

2.4.3.12 Эстетичность

Эстетичность характеризует проявление прекрасного во внешнем образе изделия. Оно обеспечивает социальную эффективность новой продукции.

С другой стороны, по степени эстетичности изделия судят о степени совершенства самой конструкции. Известно высказывание одного крупного конструктора о том, что красивое изделие может и не быть надежным, но безобразное - наверняка неработоспособно.

Эстетичность достигается методами дизайна (художественного проектирования), цель которого - включить разрабатываемое изделие в круг вещей как элемент человеческой культуры, расширить его функции не только на удовлетворение материальных потребностей, но и на потребности духовной жизни, достичь единства формы (художественного восприятия) и содержания (функционального назначения и технической целесообразности) [6].

Данное требование отражено в ГОСТ 20.39.108-85 «Комплексная система общих технических требований. Требования по эргономике, обитаемости и технической эстетике. Номенклатура и порядок выбора» [83].

Эстетичность в холодильной технике (рис.2.36) — это внешний вид холодильного оборудования, который делает его визуально привлекательным и удобным для потребителей. Эстетичность в холодильной технике может проявляться в разных аспектах: в дизайне, в использовании технологий и материалов.



Рис.2.36 Примеры современных моделей холодильного оборудования с эстетичным дизайном

Некоторые критерии, которые определяют эстетичность холодильного оборудования:

- Минимализм. Простые линии, лаконичные формы и отсутствие лишних деталей позволяют сосредоточить внимание на товаре.
- Прозрачные поверхности. Они визуально расширяют пространство и усиливают привлекательность товаров.
- Интеграция оборудования в интерьер. Например, использование витрин, где весь механизм охлаждения скрыт за декоративными панелями, что делает экспозицию более эстетичной.
- Универсальность конструкций. Современные проекты разрабатываются так, чтобы их можно было легко адаптировать под различные условия эксплуатации. Например, использование моделей, которые не только демонстрируют товар, но и могут служить в качестве элемента кассовой зоны.

Вопросы для самоконтроля по разделу 2

1. Дайте определение человеко-машинной системы. Приведите примеры данного взаимодействия в холодильной технике.
2. Каким группам требований должна удовлетворять характеристика качества системы?
3. Какие свойства заложены в требования показателей функционального назначения, надежности, безотказности и ремонтопригодности?

4. Какие свойства заложены в требования показателей сохраняемости, долговечности, комплексных показателей, технологичности и патентно-правовой защиты?
5. По каким критериям производится оценка качества?
6. Назовите виды технических систем. Приведите их примеры из области холодильной техники.
7. Что такое машины? Дайте подробную функциональную классификацию машин.
8. Что такое машинный агрегат? Представьте схематично комбинацию элементов машинного агрегата. Приведите пример из холодильной техники.
9. Что такое механическое передаточное устройство? Приведите примеры.
10. Дайте классификацию и структуру изделий по конструктивно-функциональным признакам.
11. Приведите примеры деталей, сборочных единиц, комплексов и комплектов, применяемых в холодильной технике.
12. Дайте определение понятиям делали общего и специального назначения. Какие особенности имеет элементная база в машиностроении?
13. Особенности номинальных и действительных параметров технических систем.
14. Особенности номинальных и действительных размеров, взаимозаменяемости деталей.
15. Расскажите о развитии моделей производства по Йораму Корену.
16. Расскажите об основных требованиях производителя.
17. Дайте сравнение стадий жизненного цикла изделий при традиционном и передовом производстве.
18. Какие затраты (капитальные вложения) включает в себя себестоимость продукции?
19. Какие пути возможны для применения запатентованной продукции?
20. Расскажите об основных требованиях потребителя и производителя.
21. Из каких составляющих складываются эксплуатационные расходы?
22. Дайте краткое описание правового регулирования отношений при техническом регулировании.
23. Дайте определение понятию стандартизация. Каковы объекты стандартизации?
24. На какие группы делятся стандарты по степени общности и обязательности к применению?
25. В чем особенности конструктивной и технологической стандартизации?
26. Назовите основные результаты стандартизации.
27. Что такое унификация? Каким образом подсчитывается степень унификации?

28. Дайте общую классификацию унифицированных изделий.
29. Какие существуют направления создания унифицированных конструкций?
30. Что такое преемственность?
31. Что такое технологичность? На выполнении каких условий базируется технологичность?
32. Назовите основные показатели технологичности и характеризуемые ими свойства.
33. Что такое транспортабельность? Назовите особенности транспортировки различных изделий.
34. Что такое сохраняемость?
35. Назовите основные функциональные требования.
36. Что такое надежность для разрабатываемой системы?
37. Назовите примеры отказов и связанные с ними явления.
38. Чем характеризуется жесткость? Приведите примеры.
39. Приведите примеры отказов, возникающих в результате постепенного необратимого накопления повреждений.
40. Назовите виды изнашивания.
41. Назовите виды повреждений.
42. Какими путями можно повысить надежность проектируемого изделия.
43. Что такое эргономичность? Какие выделяют эргономические свойства изделий?
44. Назовите виды безопасности изделий.
45. Назовите нормативные документы в области безопасности объектов холодильной индустрии.
46. Какими основными нормативными документами регламентируются требования экологичности?
47. Что такое эстетичность? Какими критериями определяют эстетичность холодильного оборудования?

3. ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Проектирование, как целенаправленная деятельность, обладает последовательностью и составом стадий и этапов разработки проекта, совокупностью процедур и привлекаемых технических средств, взаимодействием участников процесса. За длительный период существования человечества сформировались общепринятые, проверенные практикой подходы к проектированию и его структура.

В настоящее время существуют два представления структуры проектирования, подобных по форме, но различных по целям и подходам к деятельности. Это - структура оформления этапов проектных работ и структура проектной деятельности [6].

3.1Стадии и этапы проектирования

Стандартом ГОСТ 2.103-2013 «Единая система конструкторской документации. Стадии разработки» [84] регламентирована структура стадий и этапов проектирования, которые обязательны при официальных взаимоотношениях между заказчиком и исполнителем или между соисполнителями работ. В соответствии с ГОСТ 2.103-2013 конструкторские документы в зависимости от стадии разработки подразделяют на проектные (документы технического предложения, эскизного и технического проектов) и рабочие (рабочая документация). Данная структура (рис.3.1) определяет содержание и последовательность формирования комплекта проектной документации в процессе разработки технической системы и, таким образом, косвенно указывает на последовательность необходимых для этого действий. Проектная документация необходима для отчета перед заказчиком о проделанной работе, возможности проверки или повторения разработок другими исполнителями, подготовки производства и обслуживания в период эксплуатации [6].

Техническое задание (ТЗ) устанавливает основное назначение, технические и тактико-технические характеристики, показатели качества и технико-экономические требования к разрабатываемой технической системе, предписание по выполнению необходимых стадий согласия и состав документации, а также специальные требования к изделию. Техническое задание – это важнейший исходный документ, определяющий целенаправленную последовательность проектирования изделия (рис.3.2).

Техническое предложение (ПТ) - совокупность документов, содержащих техническое и технико-экономическое обоснование (ТЭО) целесообразности разработки проекта. Такое заключение дается на основании анализа ТЗ заказчика и различных вариантов возможных решений, их сравнительной оценки с учетом особенностей разрабатываемого и существующих изделий, а также патентных материалов (рис.3.3). Требования к выполнению технического предложения

устанавливает ГОСТ 2.118-2013 — межгосударственный стандарт «Единая система конструкторской документации. Техническое предложение» [85].



Рис.3.1 Стадии разработки конструкторской документации



Рис.3.2 Структурное представление технического задания

Согласованное и утвержденное в установленном (на предприятии, в министерстве и т. п.) порядке ПТ является основанием для разработки эскизного проекта.

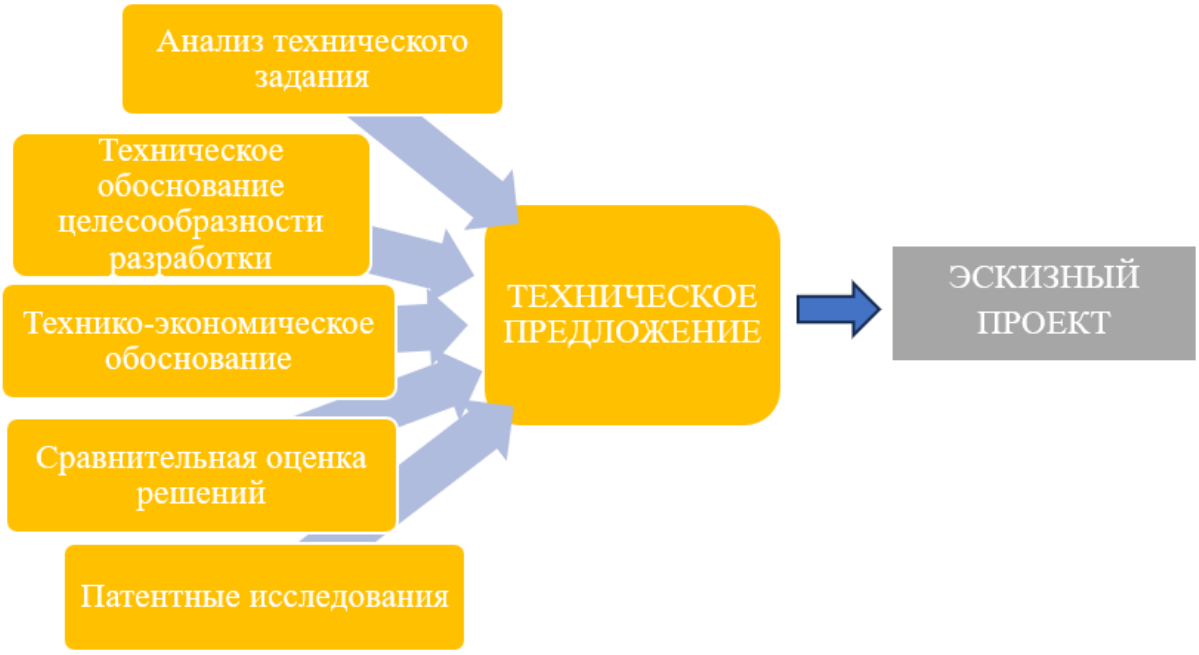


Рис.3.3 Структурное представление технического предложения

Эскизный проект (ЭП) (рис.3.4) - совокупность документов, содержащих принципиальные решения и дающих общее представление об устройстве и принципе работы разрабатываемой технической системы, а также данные, определяющие ее назначение, основные параметры и габаритные размеры. В случае большой сложности системы этому этапу может предшествовать аванпроект (предпроектное исследование), обычно содержащий теоретические исследования, предназначенные для обоснования принципиальной возможности и целесообразности создания данной системы. Эскизный проект после согласования и утверждения в установленном порядке служит основанием для разработки технического проекта или рабочей конструкторской документации. Требования к выполнению эскизного проекта устанавливает ГОСТ 2.119-2013 — межгосударственный стандарт «Единая система конструкторской документации. Эскизный проект» [86].

При необходимости на стадии ЭП проводят изготовление и испытание макетов разрабатываемой системы.

Технический проект (ТП) - совокупность документов, которые должны содержать окончательные технические решения, дающие полное представление об устройстве проектируемой системы, исходные данные для разработки рабочей документации (рис.3.5). Требования к выполнению технического проекта устанавливает ГОСТ 2.120-2013 «Единая система конструкторской документации. Технический проект» [87].

На стадии рабочего проекта (РП) сначала разрабатывают подробную документацию для изготовления опытного образца и последующего его испытания. Испытания проводят в ряд этапов (от заводских до приемо-сдаточных), по результатам которых корректируют проектные документы. Далее

разрабатывают рабочую документацию для изготовления установочной серии, ее испытания, оснащения производственного процесса основных составных частей изделия.

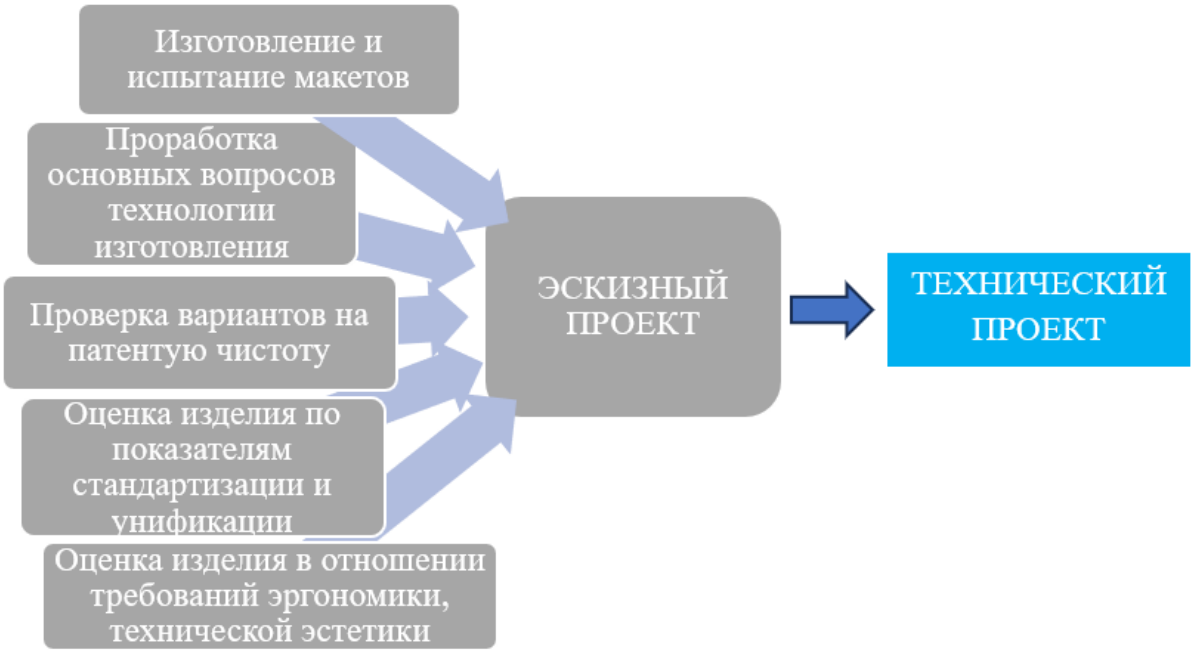


Рис.3.4 Структурное представление эскизного проекта



Рис.3.5 Структурное представление технического проекта

По результатам этого этапа снова корректируют проектные документы и разрабатывают рабочую документацию для изготовления и испытания головной (контрольной) серии. На основе документов окончательно отработанных и проверенных в производстве изделий, изготовленных по зафиксированному и полностью оснащенному технологическому процессу, затем разрабатывается завершающая рабочая документация установившегося производства [88]. Рассмотрим некоторые термины.

Единичное производство – производство, характеризуемое малым объемом выпуска одинаковых изделий, повторное изготовление и ремонт которых, как правило, не предусматривается.

Опытный образец – это образец изделия, изготовленный по вновь разработанной рабочей документации для проверки, путем испытания его заданным техническим требованиям с целью принятия решения о возможности постановки на производство и использования по назначению.

Опытная партия – совокупность опытных образцов, изготовленных за установленный интервал времени по вновь разработанной одной и той же документации для контроля соответствия продукции заданным требованиям и принятия решения о постановке ее на производство.

Установочная серия – это первая промышленная партия изделий, изготовленная в период освоения производства по документации серийного или массового производства с целью подтверждения готовности производства к выпуску продукции с установленными требованиями и в заданных объемах.

Проектная конструкторская документация – конструкторская документация, выполненная на стадиях технического предложения, эскизного и технического проектов.

Рабочая конструкторская документация — конструкторская документация, выполненная на стадиях опытного образца (опытной партии), серийного (массового) производства и единичного производства и предназначенная для изготовления, эксплуатации, ремонта (модернизации) и утилизации изделия.

Стадия разработки конструкторской документации — законченная часть процесса разработки конструкторской документации, состоящая из этапов выполнения работ и характеризующаяся достижениями заданного результата (табл.3.1).

Литера — реквизит конструкторского документа (комплекта КД) на изделие, соответствующий стадии его разработки.

В таблице 3.2 приведены некоторые конструкторские документы, разрабатываемые на изделия, в зависимости от стадии разработки (по ГОСТ 2.102-2013 «Единая система конструкторской документации. Виды и комплектность конструкторских документов») [88]. Согласно этим данным, чертеж детали, сборочный чертеж и спецификация относятся к рабочей документации. Чертеж общего вида – к проектной.

Таблица 3.1. Стадии разработки КД

Тип КД	Этапы выполнения работ	
Разработка проектной КД	Разработка технического предложения	Изучение и анализ технического задания (ТЗ); Подбор материалов; Разработка, рассмотрение и утверждение КД технического предложения с присвоением литеры «П»
	Разработка эскизного проекта	Разработка эскизного проекта; Изготовление, испытание, разработка и анализ материальных макетов; Рассмотрение и утверждение КД эскизного проекта с присвоением литеры «Э»
	Разработка	Разработка технического проекта;

	технического проекта	Изготовление и испытание материальных макетов; Рассмотрение и утверждение КД технического проекта с присвоением литеры «Т»
Разработка рабочей КД	Разработка КД опытного образца (опытной партии) изделия	Разработка КД, предназначенной для изготовления и опытного испытания опытного образца (опытной партии) изделия; Корректировка КД по результатам изготовления и испытаний опытного образца (опытной партии) изделия с присвоением КД литеры «О»; Приемочные испытания опытного образца (опытной партии) изделия; Корректировка КД по результатам приемочных испытаний
	Разработка КД на изделие серийного (массового) производства	Изготовление и испытание установочной серии; Корректировка КД по результатам изготовления и испытания установочной серии, а также оснащение технологического процесс изготовления изделия с присвоением КД литеры «А»

Этапы постановки ТЗ и технического проектирования могут входить в цикл научно-исследовательских работ (НИР) (отчет оформляется в соответствии с ГОСТ 7.32-2017 Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Отчёт о научно-исследовательской работе.

Таблица 3.2. Соответствие конструкторских документов и стадий разработки

Код документа	Наименование документа	Проектная документация			Рабочая документация на	
		Техническое предложение	Эскизный проект	Технический проект	детали	сборочные единицы
–	Чертеж детали	–	–	○	●	–
СБ	Сборочный чертеж	–	–	–	–	●
ВО	Чертеж общего вида	○	○	●	–	–
ГЧ	Габаритный чертёж	○	○	○	○	○
МЧ	Монтажный чертёж	–	–	–	–	○

По ГОСТ 2.701 [89]	Схемы	○	○	○	–	○
–	Спецификация	–	–	–	–	●

● – документ обязательный;

○ – документ выполняется по усмотрению разработчика;

– – документ не составляют.

Структура и правила оформления [91], этапы технического предложения и эскизного проектирования - образовывать цикл опытно-конструкторских работ (ОКР). В процессе разработки проектной документации в зависимости от сложности решаемой задачи допускается объединять между собой ряд этапов.

В настоящее время экспорт продукции или ее реализация внутри страны во многих случаях недопустимы без наличия у нее сертификата качества. Поэтому необходимо выделение еще одного этапа, подводящего итог проектной деятельности сертификации. Его назначение - определение уровня качества созданного изделия и подтверждение его соответствия требованиям тех стран, где предполагается его последующая реализация.

Сертификацию осуществляют специальные организации (органы по сертификации), зарегистрированные в Росстандарте (Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии). На основе анализа протоколов испытаний и состояния производства продукции и других факторов орган по сертификации дает оценку соответствия продукции установленным требованиям, оформляет и регистрирует сертификат. Срок действия сертификата не превышает трех лет. В течение всего срока действия сертификата за сертифицированной продукцией ведется инспекционный контроль.

Сертификация может быть обязательной или добровольной. Обязательной сертификации подлежат товары, на которые законами или стандартами установлены требования, обеспечивающие безопасность жизни и здоровья потребителей, охрану окружающей среды, предотвращение причинения вреда имуществу потребителя.

Добровольную сертификацию предприятия проводят по собственной инициативе. Обычно это делают для официального подтверждения характеристик продукции, выпускаемой предприятием, а также для повышения доверия потребителей к ней [6].

3.2 Структура проектной деятельности

Правильное оформление документации облегчает взаимодействие участников процесса проектирования. Осознанный же подход к проектной деятельности позволяет быстрее найти эффективные решения. Ниже изложены апробированные рекомендации по проведению процесса проектирования.

Решение любой задачи начинается с ее осмысления и уточнения исходных данных. Выданное заказчиком техническое задание (ТЗ), как правило, формулируется на языке потребителя и не всегда бывает технически четким и исчерпывающим. Первый и обязательный этап работы - перевести ТЗ на язык предметной области, сформулировать задачу максимально полно и грамотно, обосновать необходимость ее решения. Исполнитель выполняет его в тесном контакте с заказчиком.

В машиностроении этот этап иногда называют внешним проектированием. Этим подчеркивается, что разработка системы уже начинается с постановки задачи и формирования ТЗ и активно ведется совместно с заказчиком.

Следующие этапы образуют внутреннее проектирование. Они нацелены на поиск решения задачи и выполняются разработчиком. Сюда входят этапы синтеза принципа действия, структуры и параметров проектируемой системы.

На этапе синтеза принципа действия предлагают последовательность действий, ведущих к достижению цели (выполнение заданной функции), отыскивают составляющие их основу физические эффекты. Это могут быть фундаментальные законы, их частные случаи или следствия. Работа ведется с физическими моделями и их графическим представлением - блок-схемами.

На этапе структурного синтеза на основе выбранного принципа действия создается начальный упрощенный графический образ системы - структурная схема, позволяющая получить представление о форме, количестве и взаимном расположении используемых геометрических тел.

На этапе параметрического синтеза отыскиваются значения параметров системы, находится численное решение проектной задачи, уточняется графический облик и создаются чертежи изделия.

На каждом этапе внутреннего проектирования выполняются следующие процедуры:

- выбор модели (основополагающий принцип, вид блок-схемы, расчетной схемы);
- выбор метода получения численного результата;
- получение численного результата;
- анализ полученных результатов и принятие решения.

Опытом установлено, что эффективность проектируемой системы определяют: в первую очередь - выбранный принцип действия, во вторую - предложенная структура, и в третью - соотношение параметров.

В процессе разработки системы часто возникает потребность в разработке дополнительных частей и устройств. Решение таких частных, проектных задач, дополняющих основное решение, также проводится в соответствии с представленной последовательностью [6].

Процесс проектирования, как правило, итерационен, поскольку наряду с продвижением вперед, от этапа к этапу, возникает необходимость возврата на предшествующий или более ранние этапы (вплоть до этапа ТЗ) с целью уточнения предложенных там решений. Это обусловлено неполнотой начальных

сведений о задаче - часто точно еще неизвестны вид проектируемого объекта и характер взаимодействия, как между его частями, так и с внешней средой. Приходится делать начальные предположения, которые впоследствии могут и не совпадать с действительными.

Таким образом, заключительная стадия ТЗ и стадия технического предложения охватывают синтез принципа действия, стадия эскизного проектирования - охватывает синтез структуры, а стадия технического и рабочего проектирования - охватывают параметрический синтез.

3.3 Принципы построения технического задания

Подготовка к решению технической задачи уже начинается с составления технического задания (ТЗ). В общем виде ТЗ на разрабатываемую систему должно включать перечень выполняемых ею функций и список предъявляемых к ней требований. Составление ТЗ - сложная и ответственная задача: многие данные еще не известны, но то, как оно поставлено, способно облегчить или затруднить последующее проектирование. Специалисты считают, что грамотное ТЗ – это более 50% успеха в решении задачи, а время, затраченное на подготовку ТЗ, - одно из лучших вложений, которые фирма может сделать в период проектирования. Недаром составление ТЗ поручается ведущим специалистам - главным конструкторам, руководителям проектов и работ и т. п.

ТЗ включает выполнение ряда этапов, причем неопределенность, свойственная содержанию этой работе, вызывает прохождение этих этапов по несколько раз, итерационно, от наиболее общей постановки задачи - к детальной ее проработке.

3.3.1 Начальные сведения о задаче

Задание на проектирование предоставляется заказчиком либо разрабатывается исполнителем. К числу обстоятельств, обусловливающих необходимость самостоятельного формирования задания исполнителем, относятся отсутствие у заказчика соответствующих специальных знаний, а также ограниченность его ресурсов (в том числе нехватка времени, недостаточный объём финансирования, дефицит персонала или оборудования) и иные причины. Во втором случае поисковая работа может быть вызвана попыткой самостоятельной подготовки к выпуску на рынок нового вида продукции или поисковых разработок.

ТЗ может быть четко определено, когда оно, например. выдано авторитетным специалистом, либо не может быть подвергнуто сомнению (госзаказ). Но обычно ТЗ формулируется в общих фразах, на языке заказчика, который может быть весьма далек от языка разработчика и терминов предметной области. Принимать его к исполнению в таком виде весьма рискованно: так, если стоимость исправления проектной ошибки, допущенной на этапе технического проектирования принять за 1, то замечено, что стоимость ее исправления

возрастает в 10, 100 и 1000 раз, если ошибка была допущена соответственно на этапах эскизного проектирования, технического предложения и ТЗ [6].

Поэтому ТЗ разделяют на потребительское задание, которое выдает заказчик работы (ПТЗ глазами заказчика), и техническое задание, которым в итоге руководствуется исполнитель работы (ТЗ глазами исполнителя).

Первое отражает желание заказчика создать некое изделие, предназначенное для других потребителей. Реализация изделия (товара) будет возможна, если в нем испытывает потребность та или иная группа людей (потребителей), существует спрос. Но чтобы в этом быть уверенным, первоначально изучают потребительский рынок, проводят маркетинговые исследования. Под маркетинговым исследованием понимают систематический поиск, сбор, обработку, анализ и разъяснение внутренней и внешней информации, необходимой для применения сформированных рынком маркетинговых средств.

Возможен поиск видов продукции, на которые есть или может быть спрос. Но чаще маркетинговые исследования проводят с целью поиска вида продукции, которую способно выпускать определенное предприятие [6]. Направления маркетинговых исследований представлены на рис.3.6. Возможности предприятия определяют технические требования к продукции, например, уровень надежности (зависит от наличия сети сервис-центров, качества используемого материала), качество и форма поверхностей деталей (зависят от имеющегося оборудования) и т. д.



Рис.3.6. Направления маркетинговых исследований

В результате маркетинговых исследований составляют и конкретизируют потребительское задание. Качество маркетинговых решений в значительной степени определяется состоянием информации о рыночных фактах, важных для принятия решения. Перечислим наиболее типичные решаемые задачи маркетинговых исследований:

- изучение характеристик рынка;
- замеры потенциальных возможностей рынка;
- анализ распределения долей рынка между фирмами;
- анализ сбыта;
- изучение тенденций деловой активности;
- изучение товаров конкурентов;
- краткосрочное прогнозирование;
- изучение реакции на новый товар и его потенциала;
- долгосрочное прогнозирование;
- изучение политики цен.

Проведение маркетингового исследования целесообразно в следующих случаях:

- недостаточный объем информации для принятия решения;
- наличие внутренних противоречий относительно стратегии, целей и механизмов их реализации;
- ухудшение ситуации (потеря рынка, замедление товарооборота и т. д.);
- изучение причин неожиданного успеха;
- формирование новых стратегических или тактических замыслов.

Для проведения маркетинговых решений необходимо проанализировать внутреннюю информацию — изучить бухгалтерский отчет (баланс). Ориентированные на маркетинг предприятия создают для этих целей четкую систему маркетингового контроллинга [93].

В общем случае ПТЗ включает:

- перечень потребностей, удовлетворяемых выпуском продукции;
- желаемые потребительские свойства продукции;
- условия потребления продукции и емкость рынка;
- условия производства продукции, данные об исходных материалах и возможной кооперации;
- условия хранения, транспортирования и реализации;
- перечень целей, достигаемых выпуском продукции;
- заключение о технической и экономической целесообразности разработки и выпуска этой продукции.

Маркетинговые исследования повышают вероятность получить отдачу от вложений в разработку продукции. В случаях, когда необходимо привлечение потенциальных инвесторов (при недостаточности или отсутствии собственных финансовых ресурсов), результаты маркетинговых исследований оформляют в виде бизнес-плана. Этот документ предназначен для убеждения инвестора в надежности, обоснованности, перспективности и окупаемости проекта. По этой причине бизнес-план составляют простым и ясным языком, коротко (до 20 страниц формата А4), аргументированно, опираясь на реальные факты. Существует типовая структура бизнес-плана [94]:

1. Вводная часть бизнес-плана.

1.1. Титульный лист и оглавление.

1.2. Пояснительная записка (резюме) для руководителей/адресата бизнес-плана.
1.3. Краткое описание проектируемого бизнеса / бизнес-идеи.

2. Маркетинговый план и стратегия продаж.

2.1. Маркетинговый анализ бизнес-среды.
2.2. План продаж.
2.3. План PR и рекламы (маркетинговых коммуникаций).

3. Производственный план.

3.1. Формирование производственной базы предприятия и планирование его производственной деятельности.
3.2. Обеспечение технической и экологической безопасности производства
3.3. Стратегия обеспечения качества производства товаров/оказания услуг.

4. Организационный план.

4.1. Законодательно-правовые условия работы бизнеса (общие и специфические отраслевые).
4.2. Основные участники проекта, их роль и порядок взаимодействия. Философия управления бизнесом и организационная структура проектируемого предприятия.
4.3. Ключевой управленческий персонал (команда проекта/информация о руководителях) и кадровая политика фирмы.
4.4. Календарный план работ по проекту бизнес-плана.

5. Оценка рисков проекта и управление ими.

5.1. Основные этапы процесса управления рисками.
5.2. Методы идентификации, оценки и отслеживания рисков.

6. Финансовый план. Приложения к бизнес-плану.

6.1. Нормативы для проведения экономических расчетов.
6.2. Расчет точки безубыточности.
6.3. Финансово-экономические результаты деятельности предприятия.
6.4. Инвестиционный план.
6.5. Оценка экономической эффективности проекта.
6.6. Приложения к бизнес-плану и его корректировка плана.

3.3.2 Содержание технического задания

Исходное задание в форме ПТЗ или бизнес-плана может включать разные сведения, приводимые в том или ином виде, регламентированные или не регламентированные стандартами, нормами, обычаями. Но в любом случае, явно или не явно, ПТЗ для последующей переработки в ТЗ должно содержать перечисленные ниже группы данных.

Функциональная постановка целей. Технические системы являются материальными носителями определенных функций, выполнение которых и позволяет достигать заданные цели (удовлетворять потребности). Обычно функция характеризует некоторое действие, выражаемое глаголом (например, передавать, нагревать, удлиняться) или полученным на его основе словосочетанием (например, делать отверстия, обеспечивать герметичность). Но

одну и ту же функцию могут выполнять разные устройства. Поэтому функциональное, а не объектное указание цели позволяет предлагать дополнительные варианты возможных решений, что необходимо для поиска наилучшего решения. Поскольку функция - более четкий термин для описания сути назначения устройства, поэтому предпочтительна функциональная постановка цели в ТЗ [6].

Выполнение функций, реализующих заданные потребности, всегда увязывают с выполнением определенных требований, которые учитывают особенности производства и эксплуатации и т. п. Для удобства требования подразделяют на три группы:

1) условия, характеризуемые конкретными значениями данных (формально их представляют в виде равенств). Например, масса изделия должна составлять 10 кг, применять сталь 40Х;

2) ограничения, задающие допустимую область данных (формально их представляют в виде односторонних или двусторонних неравенств). Например, масса изделия не должен превышать 10 кг, применять углеродистые стали;

3) показатели качества, задающие только перечень характеристик и направление поиска предпочтительного значения. Например, масса изделия должен быть минимальной, применять максимально прочные стали.

Условия и ограничения часто объединяют в одну группу. Это вызвано тем, что в действительности условий не существует: все параметры имеют отклонения и должны задаваться своими предельными значениями, т. е. двусторонними неравенствами. Поэтому, приводя условие, особенно в виде числа, следует указывать допустимые предельные отклонения (например, масса изделия должна составлять 10±0,01 кг). Но использование условий упрощает расчеты и значительно сужает область допустимых решений (Сравните, например, условия (а+в)=5 или (а+в)>5. Во втором случае число возможных решений несравнимо больше).

Условия и ограничения могут приводиться в параметрическом или неформализованном виде. Неформализованную запись обычно используют при перечислении признаков, материалов, структур и т. п., разрешенных или запрещенных к применению. Например, условие применения изделия (конденсатор) - морское побережье, цветные материалы - не применять, поверхность - упрочнить, устройство должно быть механическим. Такие записи позволяют в лаконичной форме охарактеризовать сложные и многогранные явления и процессы, но недостаточно конкретны и неоднозначно воспринимаются разными людьми (например, какие условия соответствуют морскому побережью?). Во избежание недоразумений (решение задачи с неправильно понятыми условиями, кто будет отвечать?) желательна детализация формулировок (предпочтительно приведение их к параметрическому виду) с последующим обязательным согласованием с заказчиком. Юридически грамотно будет такое ТЗ, в котором условия и ограничения представлены посредством четких количественных характеристик [6].

Показатели качества. При их выборе руководствуются следующими соображениями [6]:

- с ростом числа показателей решение задачи усложняется, причем в большей степени, чем с ростом числа ограничений;

- грамотно задать ограничение (т. е. выбрать величину предельного значения) сложнее, чем назначить показатель. Тем более, что произвольно назначенный рубеж может свести множество допустимых решений к нулю.

По своему характеру показатели различаются на следующие: единичные, когда качество является функцией одного параметра, например, показатель мощности характеризуется мощностью Р; комплексные (в т. ч. относительные), объединяющие ряд свойств, каждое из которых описывается своим параметром, и позволяющие получить новые характеристики. Например, показатель удельной мощности, равный отношению мощности системы к ее массе. Такой показатель формально является целевой функцией, но имеет физический смысл и позволяет сократить число первоначально рассматриваемых показателей (максимум мощности и минимум массы); интегральные, объединяющие ряд комплексных показателей.

Наличие показателей качества означает, что предстоит решать задачу оптимального проектирования (оптимизационную задачу) [6].

3.4 Составление технического задания

Получив от заказчика задание (ПТЗ), приступают к его осмыслению, анализу, конкретизации и переводу на язык предметной области (составляют ТЗ). Эта работа включает ряд этапов.

3.4.1 Анализ исходного задания

При составлении ТЗ важно критически, без предрассудков подойти к первоначально поставленной задаче, по возможности охватить все ее существенные стороны. Для этого сначала необходимо убедиться, действительно ли заявленные потребности ценны для заказчика, правдивы ли исходные данные, какие неблагоприятные или вредные последствия могут возникнуть в процессе реализации этой потребности, выяснить суть потребности, отыскать источник ее возникновения.

Причиной, вызывающей необходимость разработки, служит наличие противоречия между желанием и возможностью удовлетворения потребности. Если противоречия нет, то потребность может быть удовлетворена любым доступным способом, без создания новых технических систем. Однако иногда кажется, что противоречия нет, но видно, что не всякое решение подходит. Это означает, что противоречие в действительности существует, и его следует внимательно поискать.

Противоречие вызывается изменившимися условиями или ростом требований к качеству функционирования, может заключаться как в

ограниченности свойств уже существующей системы, так и в том, что подходящей системы еще нет. Поэтому достоверный вывод о причинах появления противоречия возможен только при рассмотрении конкретной ситуации. Противоречие может быть декомпозировано, т. е. представлено в виде элементарных проблем [6].

В большинстве случаев известен прообраз: подобная система или исходная система, переставшая удовлетворять заказчика. Наличие прообраза упрощает решение, а его отсутствие не создает психологической инерции в виде предопределенных путей решения, которые не всегда ведут к лучшему результату. Если прообраз существует, то рекомендуется:

- забыв о его существовании и отталкиваясь от исходной потребности, предложить возможные варианты с последующим выбором «псевдооптимального» варианта;

- либо усовершенствовать прообраз. Для этого нужно выяснить, что не позволяет использовать прежнюю систему для удовлетворения новых потребностей. Одним из способов решения данной задачи является локализация задачи: обычно неудовлетворительная работа связана с несовершенством только некоторых подсистем [6] (например, недостаточной площадью теплопередающей поверхности конденсатора).

Однако в ПТЗ могут содержаться задачи с ошибочно выдвинутыми целями. Это задачи, которые уже имеют решение, либо не имеют объективных предпосылок для своего решения (преждевременные задачи, но это нуждается в обосновании, чтобы отказ в решении не был следствием психологической инерции или других субъективных причин); химерические задачи; а также задачи с ошибочно поставленной целью, достижение которой противоречит законам физики (например, создание устройства с КПД более 100%, устройства мгновенного действия и т. п.), либо абстрактно выдвинутые задачи, принципиально не имеющие решения.

3.4.2 Составление списка требований

При конкретизации задачи представленное заказчиком ПТЗ, даже если оно получено в общих чертах и неформализованном виде, но позволяет заказчику коротко, но полно охарактеризовать задачу, должно позволить исполнителю составить четкое и формализованное ТЗ.

Для получения соответствующего действительным потребностям ТЗ в процессе его формирования рассматривают и стараются учесть наиболее существенные моменты, которые будут определять облик разрабатываемой системы, и выделяют наиболее важные характеризующие их факторы.

Составление списка требований сводится к оценке ресурсов и обработке собранной информации (рис.3.7).

Возможность воплощения в жизнь проектных решений во многом зависят от того, какими ресурсами обладают разработчик и изготовитель. Это относится к следующим видам ресурсов:

- Финансовые ресурсы. Разработка изделия и подготовка к его реализации (продвижение на рынок) требуют определенных начальных затрат. Поэтому оценивают объем необходимых средств и их доступность, форму финансирования (наличные и безналичные деньги, получение в аренду оборудования оборудования и т. п.), срок окупаемости и способ возвращения долгов (кредиты, ссуды, расчет по лизингу и т. д.).



Рис.3.7. Структура составления списка требований

- Производственные ресурсы. Уточняется, где будут вестись проектные работы и производиться продукция, какие оборудование и материалы доступны, в каком виде, как ими будут обеспечиваться производственный процесс.

- Людские ресурсы. Выясняется, каких специалистов и в каком количестве нужно будет привлечь к разработке и изготовлению изделия, каков уровень их квалификации и оплаты.

- Временные ресурсы. Уточняется период времени, отводимый на разработку изделия. Дату завершения работ устанавливает заказчик, и она обуславливается конъюнктурой. Часто время разработки стараются максимально сократить, чтобы продлить присутствие продукции на рынке, пока она продолжает пользоваться спросом. Временные ресурсы тесно связаны со сроками морального и физического износа.

Все перечисленные ресурсы взаимосвязаны, например, за счет увеличения финансирования проекта можно сократить период разработки. Оптимальное распределение ресурсов зависит от реальных возможностей заказчика и исполнителя и от вида целей, которых достигают в результате выпуска созданной продукции.

В результате анализа степени доступности перечисленных ресурсов вводятся ограничения на методы и точность решения проектной задачи. В свою очередь, метод и точность решения взаимосвязаны с выбранной моделью. Так, при ограниченности времени ведут оценочные расчеты упрощенными методами или используют готовое программное обеспечение, стандартные методики, типовое оборудование, стандартные и покупные детали и узлы и т.д. В то же время модель, метод и точность решения должны обеспечивать исполнение требований ТЗ, даже если они и высоки.

При составлении перечня (списка) требований к проектируемому объекту рекомендуют скрупулезно вносить все выявленные данные и сведения, не обязательно в отточенных и четких формулировках. По завершении этой работы переходят к обработке собранной информации. Работа проводится в ряд этапов [6].

- Обобщение. Увязываются и обобщаются отдельные фрагменты, чтобы, по возможности, получилась цельное, ясное и лаконичное представление о разрабатываемой системе с учетом возможных изменений. Убираются дублирующие сведения, в том числе и такие, которые повторяют друг друга в иных формулировках или являются частным случаем. Например, в условии, что изделие работает в агрессивной среде, и оно должно быть коррозиеустойчивым, вторая часть является частным случаем первой, причем не обязательным, а одним из возможных решений первой проблемы.

- Абстрагирование. Предназначено дать такую формулировку требованиям, чтобы избежать предопределения путей решения задачи (не создавать психологических барьеров). Для получения «сильных» решений рекомендуется усиление системы требований и обострение противоречий путем формулирования наиболее «сильного» решения. Например, ручка пишет не только в наклонном, но и в любом положении: автомобиль передвигается не только по снегу, но и любому сыпучему и рыхлому грунту.

- Снятие «навязанного барьера». Чтобы заказчик своей формулировкой задачи не предопределял направления поиска решения, а предубеждения и психологическая инерция не сужали область поиска, желательно функцию формулировать обобщенно и в нейтральных терминах. Так, функцию «сбивать» (допустим, доски) лучше заменить термином «соединять», что позволяет отвлечься от естественной ассоциации - соединение гвоздями, и предлагает более широкий круг возможных решений.

В большинстве случаев за приведенной в ПТЗ потребностью стоит необходимость выполнения (последовательно или одновременно) нескольких функций. Цепочка функций строится для каждой из них. В процессе поиска

наиболее полной и точной формулировки строится цепочка функций - от первоначально предложенной до окончательно принятой. Этому помогает ответ на вопросы: «Зачем это нужно?», «Кому это нужно?». Отвечая на вопросы «Зачем?» и «Кому?», можно предложить ряд ответов-целей предстоящей разработки, и обязательно нужно согласовать с заказчиком, какую цель в действительности он имел в виду. Наряду с потребностью в каком-то действии может существовать и потребность в несовершении действия или совершении действия с отрицательным эффектом.

- Проверка на противоречивость. При наличии нескольких функций часть их по своему действию может оказаться противоречивыми (например, вода должна быть горячей, но не обжигать руки). Для разрешения противоречий эффективно применять эвристические методы. При этом устранение противоречий возможно как на этапе составления ТЗ (изменение формулировок функций, разнесение их действия во времени или в пространстве и т. д.), так и на последующих этапах проектирования. Во избежание затруднений при последующем решении задачи условия и ограничения также следует проверять на противоречивость. Так, ограничения могут задавать пустое множество (например, из удобства работы масса устройства не должна превышать 2 кг, а из условия обеспечения требуемого давления на опорную поверхность масса должна быть не менее 5 кг). Подобные противоречия не всегда очевидны: сведения по верхней и нижней границам ограничения могут представляться в неявном виде или размещаться в разных местах ТЗ. Разрешение противоречий возможно следующими способами: изменение ТЗ: смягчение ограничений, замена их другими (для ранее приведенного примера - второе ограничение на массу заменить ограничением на опорное давление) или отказ от них (если они не относятся к существенным); замена отдельных ограничений показателями качества. Например, вместо первого ограничения на массу изделия ввести требование минимизации его массы. Ясно, что в этом случае решения будут существовать, но лучшее - изделие с массой 5 кг; воспользоваться эвристическими приемами по уточнению ТЗ; оставить ТЗ таким, как оно есть, а возникшее противоречие попытаться разрешить на последующих проектирования.

- Разграничение требований на условия, ограничения и показатели качества. Представление требований в виде показателей позволит получить решения с высокими характеристиками, но такая задача решается сложнее. В качестве показателей выбирают те, которые характеризуют наиболее важные свойства. Для вводимых условий необходимо оценить величину разброса и необходимость указания предельных значений, т. е. представления их в виде ограничений.

- Параметризация. Точность суждения и верность выбора зависят от степени конкретности исходных требований, представлены ли они в формализованном или неформализованном виде. Для однозначности выводов все требования должны быть переведены в формализованный вид, т. е. указаны

характеризующие их параметры, причем такие, которые можно измерить, проконтролировать, рассчитать. Это также позволит выделить дублирующие требования (те, которые характеризуются одними и теми же параметрами) и обобщить их (ввести обобщенные параметры с целью сокращения общего их числа). Проблемами оценки качества посредством количественных показателей занимается наука «Квалиметрия» [95], которая исследует методы определения численных значений показателей и установление их рационального состава.

- Усечение списка требований. Большой объем информации, хотя и способен дать максимально полное представление о решаемой задаче, но усложняет решение задачи и труднее удерживается в голове. Для сокращения сведений до разумного объема (в соответствие с финансовым, организационно-техническим, временным ресурсам) проводят ранжирование или разделение требования на группы - обязательных к учету, желательных и несущественных. К обязательным требованиям относят функциональные параметры, условия взаимосвязи систем и их частей, неудовлетворение которых существенным образом влияет на выбор вариантов решений. Желательные требования позволяют различить варианты по степени качества.

Следует помнить, что проектирование носит итерационный характер, и то, что не учтено в начале, может быть учтено на последующих этапах.

Усекая требования, задают контрольные вопросы: «Почему должно выполняться данное условие (или ограничение)?», «Что произойдет, если оно не будет выполнено?» и т. п.

Также, отдельные данные в составе ТЗ должны согласовываться и утверждаться специальными службами, например, Ростехнадзором, Госсанэпиднадзор, пожарной инспекцией.

Все изменения, дополнения, уточнения формулировок обязательно согласуют с заказчиком, который их утверждает. Это необходимо и потому, что определяет степень вины каждой из сторон - участниц разработки в случае обнаружения в процессе решения задачи неточностей или ошибочности исходных данных и распределяет понесенные, в связи с этим убытки [6].

3.4.3 Формы представления технического задания

Вся собранная и обработанная информация будет постоянно использоваться на последующих этапах проектирования. Для удобства работы ее представляют в определенной форме, которые апробированы практикой ведущих фирм, хотя и не нормируется ГОСТом на техническую документацию.

Рекомендуют применять контрольные (опросные) листы (рис.3.8. – пример опросного листа ООО «Веза» [96, 97]), содержащие отсортированный и ранжированный перечень данных. Название проектируемой системы приводится в нейтральной формулировке, например - устройство. Далее перечисляются функции, потребность в выполнении которых существует. Первоначально данные разделяют на группы [6]:

- геометрия - размер, высота, ширина, длина, диаметр, площадь, занимаемое пространство, количество, расположение, предельные положения;
- кинематика - вид движения, его направление, скорость, ускорение и их изменение в процессе эксплуатации;
- нагрузки - вид, величина, направление, пределы изменения, силы инерции, масса, давление, деформация, жесткость, упругость, резонанс;
- энергия - вид, мошность, потери на трение, нагрев, обмен, источник, запас, емкость, эффективность;
- материалы - доступность, начальные и конечные свойства, состояние;
- сигналы и информация - входные и выходные потоки, отображение, восприятие; безопасность - системы, персонала, среды, воздействие случайное преднамеренное;
- удобство - человеко-машинное взаимодействие, ясность инструкций, управления;
- производство - возможности, предельные габариты и масса, процессы, средства,
- точность, износ;
- контроль качества - возможность испытания и измерения, нормы и сгандарты; сборка - ограничения по подъемным механизмам, зазоры, транспорт, доставка; работа - бесшумность, износ, условия, область рынка;
- обслуживание - периодичность, характер, контроль и ремонт;
- стоимость - допустимая стоимость производства, материалов, оборудования, изменение цен, финансирование.

При заполнении листов руководствуются следующими правилами - данные располагают по степени важности; сведения приводят в обобщенном виде, без излишней детализации. При необходимости, на последующих этапах проектирования, отдельные пункты раскрывают подробнее, конкретизируя и уточняя их. Составление ТЗ существенно сокращается и упрощается при работе с информационными базами данных.

Техническое задание является не только техническим, но и юридическим документом, поскольку как приложение его включают в договор между заказчиком и исполнителем на проведение работ. Поэтому работа над техническим заданием должна увязываться с составлением договора, что требует знания Гражданского кодекса Российской Федерации [98] и нормативных документов по хозяйственному праву [6].

Опросный лист на проектирование и изготовление КЦКП

Блок электрич. воздухонагр. — I подогрев — $t_{вх}$=_____ °C, $t_{вых}$=_____ °C — --- — _____кВт — ---

II подогрев — $t_{вх}$=_____ °C, $t_{вых}$=_____ °C — --- — _____кВт — ---

Блок воздухоохладителя с сепаратором и поддоном — Параметры воздуха: $t_{вх}$=_____ °C, $t_{вых}$=_____ °C, $I_н$=_____, $I_к$=_____, $d_н$=_____, $d_к$=_____ — Тип хладагента: _____, содержание _____ % — Относительная влажность φ =_____ % — Производительность _____кВт

Блоки теплоутилизации

На теплообменниках — Параметры воздуха: $T_{улич}$=_____ °C, $d_{улич}$=_____ г/кг, $T_{вытяж}$=_____ °C, $d_{вытяж}$=_____ г/кг — Тип хладагента: _____, содержание _____ % — $L_{вытяж}$ = _____ $м^3/ч$ — Тип хладагента: _____, содержание _____ %

Пластинчатый — $T_{улич}$=_____ °C, $d_{улич}$=_____ г/кг, $T_{вытяж}$=_____ °C, $d_{вытяж}$=_____ г/кг — $L_{вытяж}$ = _____ $м^3/ч$ — ---

Вращающийся — $T_{улич}$=_____ °C, $d_{улич}$=_____ г/кг, $T_{вытяж}$=_____ °C, $d_{вытяж}$=_____ г/кг — $L_{вытяж}$ = _____ $м^3/ч$ — ---

Блоки увлажнения

Блок-камера орошения — $t_{нач}$=_____ °C, $t_{кон}$=_____ °C, $d_{нач}$=_____ г/кг, $d_{кон}$=_____ г/кг, Коэффициент адиабатической эффективности _____ — Комплектация: ☐ насос

Блок сотового увлажнения — $t_{нач}$=_____ °C, $t_{кон}$=_____ °C, $d_{нач}$=_____ г/кг, $d_{кон}$=_____ г/кг

Блок парового увлажнения — $T_{нач}$=_____ °C, $T_{кон}$=_____ °C, $P_{ал.уст.}$=_____кВт, $d_{нач}$=_____ г/кг, $d_{кон}$=_____ г/кг, $G_{пара}$=_____ кг/час

Блок шумоглушения — Длина пластин (мм) ☐ 500 ☐ 1000 ☐ 1500 ☐ 2000

Блок-камера промежуточная — Длина_____мм

Комплект автоматики — ☐ Да (необходимо заполнить опросный лист для комплекта автоматики) ☐ Нет

Упаковка — ☐ полиэтилен (бп) ☐ деревянная обрешетка (за доп. плату)

Дополнительные сведения

СХЕМА КОНДИЦИОНЕРА (ПРИТОЧНОЙ КАМЕРЫ)

Подпись:_____ (расшифровка подписи)_____

Примечание:
Ответственность за заполнение опросного листа несет заказчик.

Страница 2

КОНДИЦИОНЕРЫ ЦЕНТРАЛЬНЫЕ КАРКАСНО-ПАНЕЛЬНЫЕ типа КЦКП 72

ВЕЗА Опросный лист на проектирование и изготовление КЦКП

(отправлять в тех.отдел фирмы "Веза" факс: 926-99-02 e-mail: veza@veza.ru)

НУЖНОЕ ОТМЕТИТЬ ☒

Организация:_____ Объект:_____

Контактное лицо:_____ Адрес объекта:_____

Регион (город):_____

тел./факс:_____

e-mail:_____ ДАТА:_____

☐ Проектировщик ☐ Инвестор ☐ Строительно-монтажное предприятие

Характеристики установки

Типоразмер КЦКП -_____ Количество, шт._____

Тип системы: ☐ приток ☐ вытяжка

Специальные исполнения: ☐ Северное ☐ мод. 01 ☐ мод. 02 ☐ мод. 03 ☐ Наружное ☐ Гигиеническое ☐ Медицинское

Материал: ☐ оцинкованная сталь ☐ оцинкованная сталь с полимерным покрытием синего цвета (за доп. плату)

Сторона обслуживания: ☐ справа ☐ слева

Поставка: ☐ блоки ☐ моноблоки (тип по каталогу_____) ☐ пенетами (с КЦКП-50)

Состав кондиционера — Технические характеристики

Вход воздуха — ☐ рециркуляция _____% $T_{вх}$=_____ °C $d_{вх}$=_____ г/кг $\varphi_{вх}$=_____ % или $t_{см}$=_____ °C $\varphi_{см}$=_____ % ☐ Гибкая вставка на клапан ☐ Жесткая вставка на клапан

Блок вентилятора — Расход воздуха, L=_____ $м^3/час$ Свободн. давлен._____ Па ☐ Гибкая вставка на выкопе вентилятора

Резервный вентилятор — Расход воздуха, L=_____ $м^3/час$ Свободн. давлен._____ Па Установка: ☐ по высоте ☐ в плане ☐ Гибкая вставка на выкопе вентилятора

Блоки фильтров — Грубой очистки ячейковый G3 (плоский) ☐ G3

Грубой и тонкой очистки карманный G4...F9 — Класс ☐ G4 ☐ F5 ☐ F6 ☐ F7 ☐ F8 ☐ F9

Блок воздухонагревателя жидкостный — I подогрев — Температура воздуха $t_{вх}$=_____ °C $t_{вых}$=_____ °C — Температура теплоносителя $t_{вх}$=_____ °C $t_{вых}$=_____ °C — Производительность (необязательно) _____кВт — Обводной канал управление: ☐ электропривод ☐ ручной привод

II подогрев — $t_{вх}$=_____ °C $t_{вых}$=_____ °C — $t_{вх}$=_____ °C $t_{вых}$=_____ °C — _____кВт — ☐ электропривод ☐ ручной привод

Блок воздухонагревателя паровой — I подогрев — $t_{вх}$=_____ °C $t_{вых}$=_____ °C — Температура пара $T_{пара}$=_____ °C — _____кВт — ☐ электропривод ☐ ручной привод

II подогрев — $t_{вх}$=_____ °C $t_{вых}$=_____ °C — $T_{пара}$=_____ °C — _____кВт — ☐ электропривод ☐ ручной привод

105203, г. Москва, ул. 16-я Парковая, д. 5, тел.: (095) 966-49-69 (многоканальный), факс: (095) 926-99-02, e-mail: veza@veza.ru

Опросный лист на проектирование и изготовление КЦКП

Страница 1

Рис. 3.8. Пример опросного листа ООО «Веза» на проектирование и изготовление центрального кондиционера [96, 97]

3.5 Методики реализации содержания технического задания

3.5.1 Обеспечение патентной чистоты и преемственности изделия

Патентная информация становится важным источником комплексных данных об инновационном развитии конкретных технологий, хозяйствующих субъектов и отдельных отраслей экономики. Эти данные, объединенные в единый отчет, способны продемонстрировать картину как национальной, так и общемировой инновационной системы. Результаты патентной аналитики могут применяться для представления о конкурентной среде и помогут спланировать новые исследования и разработки [99]. Проведение патентных исследований регламентирует ГОСТ Р 15.011-2024 «Интеллектуальная собственность. Патентные исследования. Содержание и порядок проведения» [100]. Стандарт устанавливает единые требования к организации, методическому обеспечению, порядку проведения, содержанию, оформлению и использованию результатов патентных исследований (ПИ) на территории РФ.

Удобными инструментами для проведения патентного поиска являются следующие ресурсы:

1. https://www1.fips.ru/ - официальный Интернет-сайтом Федерального государственного бюджетного учреждения «Федеральный институт промышленной собственности» (ФИПС) [101].
2. https://searchplatform.rospatent.gov.ru/patents - поисковая платформа Роспатента [102].
3. http://yandex.ru/patents - «Яндекс.Патенты», сервис поиска по патентам, запущенный компанией «Яндекс» [103].
4. https://patents.google.com/ - Google Patents — это поисковая система от Google, которая индексирует патенты и патентные заявки [104].

Актуальные вопросы патентоведения и патентной аналитики подробно рассмотрены в учебных пособиях [99, 105].

Патентные исследования позволяют определить патентную чистоту и патентоспособность создаваемой технической системы на уровне способа и (или) устройства. Патентная чистота указывает на оригинальность предлагаемого решения или отсутствие на него права собственности. Патентоспособность указывает на то, что предлагаемое решение соответствует изобретательскому уровню, и его функциональная структура отлична от функциональных структур известных объектов (т. е. предлагается новый способ функционирования, принцип действия или конструкции).

Поиск патентно-чистой функциональной структуры технической системы обязателен, если необходимо закрепиться на рынке, где недопустимо копирование разработанного конкурентами изделия. С этой целью на решение проектируемой системы следует получить патент, чтобы не выпускать продукцию, в основе которой лежат защищенные патентами чужие решения.

Хотя составление функциональной структуры системы можно проводить постепенно, полагаясь на итерационный характер процесса проектирования, во

это излишне долго и дорого. Проще структуру выбирать, изучая подобные системы - аналоги и прототипы, их устройство, опыт эксплуатации. Поиск аналогов и прототипов проводят путем изучения научно-технической литературы (книги, журналы, отчеты, диссертации, каталоги и др.) и патентной документации (авторские свидетельства, патенты, заявки) [8].

К аналогам относят системы сходной технической сущности и достигаемого при использовании результата. Наиболее близкий аналог называется прототипом. Однако наличие прототипа и затрудняет работу. Он создает психологическую инерцию, предопределяет ход поиска решений. При этом не всегда обращают внимание на те условия и показатели качества, под которые создавалось изделие-прототип. Так, незначительные, на первый взгляд, отличия в перечне требований ТЗ могут привести к существенным отличиям в конструктивном и схемном решениях (например, применительно к малосерийному массовому производству холодильных компрессоров).

Конструктивная идея есть результат прогрессивного развития уже существующих решений. Принцип преемственного развития конструкций позволяет использовать в новых изделиях хорошо зарекомендовавшие себя в эксплуатации общеизвестные узлы, детали, схемы управления, которые морально не устарели.

Решая задачу создания новой технической системы (машины, устройства) или пытаясь улучшить существующую модель, следует не только изучить современные машины данного класса, но и историю их создания. Нередко бывает, что принцип действия или конструктивные решения, отвергнутые практикой много лет назад, обретают работоспособность и оказываются прогрессивными в новых условиях - с появлением новых машиностроительных материалов, технологических методов, открытием новых научных закономерностей.

Наряду с изучением опыта «своей» отрасли промышленности, необходимо использовать достижения других отраслей, особенно таких, как авиастроение и автомобилестроения, отличающихся повышенной требовательностью к надежности, прочности и жесткости деталей при минимальном весе, к технологичности изделий и их эстетико-экологическим качествам.

Преемственность не означает копирования предыдущих конструкций, она не должна превращаться в тормоз технического прогресса. Вместе с тем, она служит базой для технического творчества и предостерегает конструктора от «изобретения велосипеда». то есть от ложного пути поиска давно известного конструктивного решения.

Наиболее полно преемственность выражается при создании производных машин (изделий), когда удачную конструкцию берут за базу и с помощью различных приемов преобразуют ее рабочие функции или параметры. Эти приемы детально описаны в трудах Альтшуллера Г.С. [106, 107 и др.] и его последователей.

3.5.2 Компонование

Центральным моментом процесса конструирования является представление образа будущего изделия, как более или менее определенного сочетания составных частей этого изделия. Например, автомобиль представляется как сочетание колеса с кузовом и двигателем, а образ детали представляет собой определенное сочетание конструктивных элементов. Сознательное формирование такого образа и называют компонованием.

В каждом изделии - машине, узле или детали, есть главные элементы, выполняющие основную функцию изделия. Именно с представления этих главных элементов и начинают компонование изделия в целом.

Например, компонуя зубчатый редуктор, сначала изображают главные элементы - зубчатые колеса, затем размещают в них валы с крепежными элементами, потом - подшипники т. д. При этом приходится уточнять форму и размеры сопряженных элементов, постепенно выявляя все большие подробности конструкции деталей [108].

Поскольку формальной целью конструктора являются чертежи, то чтобы придать образу зримый и устойчивый характер, вид этих элементов стараются как можно быстрее зафиксировать на бумаге. Далее образное и графическое компонование стимулируют и дополняют одно другое.

Компонование осуществляют, как правило, с соблюдением основных размеров и пропорций, желательно в определенном масштабе. К моменту графического компонования должны быть сделаны проектные расчеты на прочность, дающие основные размеры функциональных элементов. Однако большинство размеров, которые называют конструктивными, получаются в результате компонования. В процессе компонования многие размеры затем проверяют расчетами по соответствующим критериям работоспособности.

Совмещение компонования с расчетами есть важный принцип рационального проведения процесса конструирования.

Обычно простые или насыщенные объекты компонуют в той проекции (разрезе), которая несет наибольшую информацию. Детали изображают тонкими линиями, сечения штрихуют слегка от руки или не штрихуют вовсе (чтобы меньше было стирать при переделках), типовые детали и узлы показывают условно.

Сначала наносят контуры основных деталей и целых узлов без конструктивных подробностей (как на габаритном или теоретическом чертеже). Затем в компоновку последовательно привносят второстепенные детали, отдельные конструктивные элементы деталей, необходимые для уточнения их взаимного расположения; и лишь затем характеристики сопряжений и производные размеры.

Компоновочный рисунок или чертеж может рассматриваться как эскизный чертеж, если он соответствует правилам ЕСКД. Эскизный чертеж есть отчетный

документ соответствующей стадии разработки, в то время как компоновка - этап работы на этой стадии.

Рационально построенный процесс компонования должен опираться на такие принципы конструирования, как унификация и нормализация. Унификация обеспечивает сокращение номенклатуры и типоразмеров составных частей изделия. Нормализация размеров и целых составных частей изделия обеспечивает взаимозаменяемость, технологичность изделия, позволяет использовать готовые чертежи, что сокращает объем разрабатываемой документации.

Также широко применяют секционирование, метод базового агрегата и агрегатирование. Пример секционирования - конвейеры, транспортеры, несущие конструкции которых собираются из любого числа секций. Метод базового агрегата реализован в тракторных и автомобильных шасси, оснащенных сменным навесным оборудованием различного назначения. Агрегатирование - создание машины путем совместного применения автономных унифицированных узлов (агрегатные станки, приводы на основе стандартных узлов - двигателей, редукторов, муфт и др.).

При проектировании механических передач применяют также метод линейных размеров для изменения нагрузочной способности передач, а именно: изменяют ширину зубчатых колес и цепных звездочек без изменения шага и числа зубьев, ширину шкивов ременных передач при постоянном диаметре шкивов, уменьшают опорную базу вала и т.д.

Подобные конструктивные приемы позволяют использовать, например в редукторостроении, одни и те же корпус, вал, другие детали и узлы для сборки редукторов различной нагрузочной способности, что очень важно для сокращения номенклатуры изделий в серийном производстве [108].

3.5.3 Проведение расчетных операций

Обоснованное заключение о допустимости и целесообразности ранее принятых компоновочных решений должно быть обеспечено определением объектных параметров (геометрических размеров и материалов), по которым будет изготавливаться изделие. Определение параметров системы возможно разными методами - экспериментальными, эвристическими, но чаще всего - расчетными методами. Чем точнее будут определены параметры, тем выше качество спроектированной системы, особенно ее надежности, компактности, экономичности и других показателей.

Остальные параметры используются как вспомогательные и служат для записи требований ТЗ, характеристики проектируемой системы и обоснования принимаемых решений.

Проведение расчетов связано с расчетными моделями. Это могут быть известные модели (нормативные методы расчета, готовое программное обеспечение) или разрабатываемые применительно к конкретной задаче.

В понятие расчетной модели входит и расчетная схема. Ее составление или графическое воспроизведение всегда желательно, поскольку облегчает восприятие решаемой задачи, а также позволяет проверить соответствие расчетов выбранной схеме, а схемы - реальному объекту. Схема - первична, а расчеты - вторичны, и какими бы точными не были расчеты, они не повысят точность результатов, если расчетная схема была грубой или же неверной. Применение же удачной схемы позволяет получить требуемую точность и при упрощенных расчетах, экономя на этом время и деньги.

Используемые на данном этапе требования ТЗ должны быть максимально формализованными, а ранее выбранные физические принципы, геометрические соотношения и условия состыковки элементов структуры - получить математические выражения. В сложно формализуемых задачах поступают следующим образом: декомпозируют исследуемое явление (сведение, условие, ограничение или показатель качества) до получения набора элементарных понятий, которым можно поставить в соответствие математическое выражение. Например, технологичность → простота форм поверхностей → использование плоских и цилиндрических поверхностей - введение ограничений на соотношение параметров, характеризующих формы деталей. Или, красота изделия → соблюдение золотого сечения → запись соотношения между параметрами, характеризующими внешний облик; проводят экспериментальные исследования с последующей обработкой данных. Например, проведение ресурсных испытаний с целью установления связи между долговечностью детали и действующей на нее нагрузкой; используют упрощенные «инженерные» зависимости, выбираемые из аналогичных задач и подгоняемые под условия конкретной задачи введением уточняющих коэффициентов (часто определяются из экспериментальных исследований и опыта эксплуатации, например, коэффициенты запаса, динамичности и т. д.) [6].

В процессе расчета может оказаться, что расчетная схема, охватывающая все интересующие параметры, слишком сложна. Рекомендуют воспользоваться методом последовательных приближений: сначала составить задачу для определения наиболее важных параметров, а затем - второстепенных.

В процессе расчетов приходится сталкиваться с проблемами точности решения и принятия решения. Как отмечалось ранее, каждый параметр, приводимый в проектной документации, известен с некоторой точностью и характеризуется своими предельными отклонениями и законом распределения. Представление параметров в виде конкретного числа вносит в расчет неопределенность и поэтому должно проводиться обоснованно - например, расчет по средним или по предельным значениям, в «запас прочности».

Точность результатов расчетов определяется точностью исходных параметров и точностью выбранной модели и метода решения задачи. И наоборот, точность выбираемых модели и метода решения должны обеспечивать требуемую точность результатов.

Необходимость принятия решения в основном связана с особенностью всех реальных задач - множественность получаемых решений. Это вызвано тем, что число искомых параметров (неизвестных) больше числа связывающих их условий (уравнений). Для получения обоснованного вывода поступают следующим образом [6]:

- доопределяют задачу, т. е. из анализа ТЗ, дополнительных бесед с заказчиком выявляют недостающее количество условий или же ими обоснованно задаются;

- задача формулируется как оптимизационная, а параметры разделяют на искомые (обычно, это - критерии оптимизации), варьируемые (подлежащие определению) и неизменные (постоянные, приблизительно постоянные и константы).

Выполнение технических расчетов - наиболее формализованная часть проектной деятельности. При этом существуют типовые задачи с хорошо отработанным алгоритмом решения. К ним относят [6]:

1. Определение параметров проектируемой системы по заданной нагрузке (условиям эксплуатации, приведенным в ТЗ). Эту задачу решают как оптимизационную или же одним из неизвестных.

1.1. Если задаются материалом (маркой и физико-механическими характеристиками), то такую задачу называют проектировочным расчетом. Материал выбирают, стараясь учесть требования ТЗ (например, если изделие должно быть компактным, то желателен материал с высокими прочностными характеристиками). Размеры затем определяют из уравнений, отражающих требования ТЗ (условия прочности и жесткости и т. д.), состыковки и т. п.

1.2. Если задаются размерами (предельными диаметром или габаритами, присоединительными размерами и т. п.), то такую задачу называют «вписаться в заданный габарит». Из уравнений, отражающих требования ТЗ, затем определяют физико-механические характеристики материала (модуль упругости, пределы прочности и выносливости, твердость и т. п.), по которым подбирают его марку.

Задача «вписаться в заданный габарит» может не иметь решения, если заданы очень жесткие ограничения на размеры (например, чрезвычайная компактность) или по получаемым физико-механическим характеристикам нельзя подобрать материал (слишком дорог или такой вообще отсутствует). Тогда ограничения на размеры необходимо смягчить (расчет будет служить обоснованием этих действий перед заказчиком), либо, при несогласии заказчика, - изменять структурную схему или принцип действия (выполнять итерационный цикл разработки).

Возможно (при завышенных размерах), что подходящий материал будет нерационален, т. е. будет иметь, например, излишне большой запас прочности или жесткости. В таких случаях, если не возражает заказчик, изделие выполняют более компактным.

2. Определение нагрузочной способности. Такая задача возникает, когда у спроектированного или изготовленного изделия требуется либо проверить соответствие его технической характеристики (нагрузочной способности) паспортным данным, либо восстановить ее. Точность выводов зависит от того, насколько правильно и полно будут учтены особенности эксплуатации и определены исходные данные (конкретные размеры, характеристики материала), выявлены и математически описаны возможные критерии отказов, составлены расчетные схемы. При наличии нескольких условий за допустимую нагрузку принимают предельно возможную нагрузку.

3. Проверочный расчет. Такую задачу ставят, когда изделие уже спроектировано (определены все его параметры) и требуется либо дать заключение об уровне его надежности (срок службы, запас прочности, уровень безотказности и т.п.), либо убедиться в правильности проведенных расчетов и отсутствии ошибок. Проверочный расчет заключается в проверке выполнимости условий, либо типовых (для данного вида изделий и условий его эксплуатации), либо выявленных в ходе эксплуатации.

Проверка по второстепенным или случайно назначенным условиям приводит к неверным выводам даже при аккуратно выполненных расчетах. Важным моментом также является обоснованное назначение предельного допустимого значения, в сравнении с которым и делается заключение о выполнимости условия.

Хотя проверочные расчеты и бывают сложными, но эта задача по сравнению с другими считается более простой, так как относится к задачам анализа (прямым задачам). По этой причине сложные проектировочные расчеты часто сводят к серии проверочных, в процессе которых определяют, например, методом последовательных приближений значения искомых параметров. Такой подход используется при расчете подшипников качения и в других случаях.

После определения параметров системы становится возможным проверить ранее сделанные предположения (например, о габаритах и массе системы и ее частей, что влияет на действительные значения механических характеристик, выбор расчетных коэффициентов и т. п.) и, при больших расхождениях, уточнить исходные данные и повторить расчеты. Также становится возможным проверить согласованность основных параметров взаимодействующих подсистем, таких как производительность (например, величин мощности с учетом КПД), степень надежности (желательно, чтобы части системы имели одинаковую надежность) и др.

На этапе расчетных операций определяются не только численные значения параметров системы, но и данные, на основе которых вычерчивается ее изображение, и в первую очередь, чертеж общего вида. Их набор (численные данные, приводимые в текстовой документации, и графическая документация) образует необходимый комплект проектной документации.

Этап расчетных операций, по сравнению с другими этапами, максимально формализован, при этом многие расчеты - нормативные (регламентированы

стандартами). Часто необходимо проводить серию однотипных расчетов, варьируя величинами отдельных параметров. Это делает эффективным применение вычислительной техники и автоматизации расчетов [6].

3.5.4 Организация завершения проектирования

По завершении расчетных работ создание объекта формально должно закончиться. После завершения эскизного проектирования, согласования и утверждения полученных технических решений у заказчика переходят к стадии технического проектирования. На этом этапе выполняют всю основную конструктивную проработку объекта и его частей. Возможно уточнение технических решений с возвратом на предыдущие стадии.

Техническое проектирование проводят при тесном взаимодействии всех разработчиков. Объединение отдельно спроектированных подсистем в единое целое, проверка допустимости сборки и совместного функционирования называется композицией системы. Композицию проводят на стадиях эскизного и технического проектирования, постепенно переходя от согласования структур к согласованию отдельных параметров. По завершении технического проектирования приступают к рабочему проектированию, в процессе которого определяют все параметры системы и ее подсистем, подготавливают итоговый комплект документации, уточняют его в ходе испытаний и отладки в производстве. Возможно уточнение технических решений, предложенных на этапах эскизного и технического проектирования [6].

3.5.5 Организация процесса проектирования изделия сложной структуры

В проектируемых объектах необходимость во многих подсистемах выявляют лишь в процессе разработки. Таким образом, полный набор сведений, необходимый для решения проектной задачи, становится известен только при завершении работы.

Наличие или появление новых подсистем (агрегатов, узлов и т.п.) обусловливает привлечение к проектированию нескольких разработчиков (людей, организаций). Процесс проектирования становится иерархичным, возникает взаимодействие участников разработки и их совместная итерационная деятельность. В этом случае генеральный разработчик системы составляет для всех участников совместного проектирования частные технические задания (ЧТЗ). В соответствии с полученным ЧТЗ каждый разработчик на стадии технического предложения выполняет, если необходимо, декомпозицию системы и подготавливает частные технические задания на подсистемы.

После выполнения всех этапов технического предложения генеральный и частные разработчики (соисполнители) согласовывают и утверждают его у заказчика, при этом они совместно уточняют исходное ТЗ. Участие частных разработчиков в окончательном оформлении ТЗ делает последнее более полным и повышает обоснованность поставленной задачи.

После утверждения технического предложения разработчик распределяет между соисполнителями ЧТЗ, на основании которых могут вырабатываться ЧТЗ для подсистем более низких уровней. Если подсистемы второго уровня отсутствуют, то технические предложения для подсистем часто не выполняют, поскольку работы практически были завершены на уровне системы.

По завершении этапа распределения ТЗ разработчики системы и ее подсистем приступают к выполнению стадии эскизного проекта. Проработку структуры на этой стадии проводят при тесном взаимодействии всех разработчиков. В процессе такой работы увязываются между собой отдельные части, согласовываются основные параметры проектируемого объекта. Качество проектирования зависит от широты видения генеральным разработчиком проблемы, т.е. от его кругозора и способности учесть все связи рассматриваемого объекта, и наличия у него знаний, захватывающих смежные области. В процессе эскизного проектирования и согласования частных решений с общим возможна корректировка ТЗ [6].

Значительные сложности возникают при разработке конструкций нетиповых систем (например, винтовых или спиральных компрессоров), включающих даже небольшое число узлов и деталей. Упрощение процесса проектирования в большинстве таких случаев достигается ведением разработки методом последовательных приближений. Наиболее распространены два таких подхода.

1. Пошаговое расширение проектируемой системы. Первоначально решают задачу для основных функций и определяют параметры, которые характеризуют выполнение этой функции. На следующем шаге смотрят, что необходимо в помощь этим функциям, чтобы обеспечить их нормальное выполнение и удовлетворение требований ТЗ. Выявляют вспомогательные функции, для которых, на основе прежнего ТЗ, составляют новое, частное ТЗ и решают проектную задачу. Снова анализируют полученное решение (разработанную систему) на потребность во вспомогательных функциях следующего уровня и либо заканчивают разработку, либо решают новую дополнительную задачу.

Например, необходимо спроектировать устройство для понижения частоты вращения (редуктор). Пусть в качестве решения остановились на конструкции цилиндрической передачи. Параметрами, характеризующими эту передачу, являются диаметры колес, их ширина и материал. Анализ конструкции показал, что необходимо учесть подвод и отвод движения и фиксацию колес в пространстве. Проектирование этих функций привело к введению в конструкцию валов.

Последующий анализ конструкции показал, что необходимо также обеспечить передачу движения с колеса на вал и их осевую фиксацию (учесть условия состыковки). Пусть это потребовало применения посадки с натягом и увеличения посадочной ширины колеса (ширины ступицы).

Далее, анализ конструкции показал, что валы нуждаются в фиксации. Решение этой задачи привело к использованию опор качения, вид и параметры которых будут определены из учета передаваемой колесами нагрузки и условий сопряжения с валами и т. д.

Очевидно, что на каждом этапе решается относительно простая частная задача. Однако в итоге может получиться конструкция, состоящая из нагромождения разноплановых частей. Во избежание этого на каждом шаге желательно исследовать получающуюся конструкцию на возможность ее усовершенствования (совмещения функций, объединения частей и их гармонизацию).

2. Пошаговая детализация проектируемой системы. Проектирование системы обычно проводится от общего к частному: сначала прорабатываются формы и параметры, непосредственно взаимосвязанные с исходной функцией, затем - отражающие наиболее важные требования ТЗ, затем - менее важные. И так до необходимой степени подробности, обусловливаемой полнотой учета требований ТЗ. После каждого итерационного цикла проверяют совместимость и непротиворечивость прежних и вновь добавленных решений.

Рассмотрим конструкцию колеса проектируемого редуктора. Допустим, что передача - зубчатая. Из условия выполнения исходной функции (понижение частоты вращения) определились цилиндрическая форма и параметры зацепления, а из условия сопряжения с валом - ширина колеса и диаметр отверстия. Однако такая конструкция является незавершенной. На следующем шаге, например, из условия технологичности, зубчатый венец решено выполнить на всю ширину колеса. Естественно, что возможны и другие варианты - например, узкий венец и широкая ступица.

Допустим, что выбранная конструкция не полностью удовлетворяет всем требованиям ТЗ, например, тяжела. На следующем шаге с целью облегчения колеса в его конструкцию вводится, например, диск. Далее, для обеспечения технологичности вводятся, как возможные варианты, фаски, уклоны, галтели и т.п. Одновременно уточняются величины и отклонения геометрических размеров, параметры шероховатости и т.д.

Характерно, что поиск возможных вариантов проводят не только посредством синтеза новых решений, но и выбирая типовые решения из элементной базы (как конструктивных, так и технологических элементов поверхностей деталей).

Последовательное добавление к первоначальному упрощенному изображению разрабатываемой детали отыскиваемых таким образом элементов детали (добавляя и при необходимости, корректируя изображение) позволяет в итоге получить чертеж общего вида этой детали. Чем полнее будут учтены требования ТЗ и условия состыковки с соседними деталями и узлами, тем он будет подробнее. При этом некоторые элементы поверхностей детали, в основном характеризующие технологические свойства (например, фаски, галтели, уклоны), на чертеже могут не указываться, а задаваться техническими

требованиями, если будет подразумеваться их обязательное исполнение в процессе производства.

Ведение разработки последовательно от верхних уровней иерархической структуры проектируемой системы к низшим называется нисходящим проектированием. Его результатом будут требования к подсистемам.

Возможен ход разработки от низшего уровня к верхнему, что образует процесс восходящего проектирования. Такое проектирование встречается, если одна или несколько подсистем уже являются готовыми (известными, т. е. покупными или уже разработанными) изделиями, ключевыми в будущей конструкции. Результатом проектирования будет частная документация подсистем.

Нисходящее и восходящее проектирование обладают своими достоинствами и недостатками. Так, при нисходящем проектировании возможно появление требований, которые впоследствии оказываются нереализуемыми по технологическим, экологическим или иным соображениям. При восходящем проектировании возможно получение системы, не соответствующей заданным требованиям. В реальной жизни, вследствие итерационного характера проектирования, оба его вида взаимосвязаны.

Например, разрабатывая при нисходящем проектировании компрессорный агрегат (от общей схемы к подсистемам и, в частности, - к электродвигателю), необходимо увязать общую компоновку с размерами и мощностью уже выпускаемых электродвигателей. В противном случае придется разрабатывать применительно к данной компоновке новый электродвигатель, либо изменять первоначальный вариант расположения двигателя или схему компоновки компрессора в агрегате [6].

3.5.6 Организация завершения циклов итерации проектирования

Проработка проектных вариантов на каждом цикле работы завершается принятием одного из следующих решений:

- о завершении проектирования системы и оформлении проектной документации, со сдачей ее заказчику. При завершении проектирования подсистемы переходят к проектированию других подсистем, предварительно дополняя 13 условиями сопряжения частей;

- о прекращении разработки данной системы, поскольку ее возможные варианты оказались неспособными удовлетворить требованиям заказчика. Такое решение может быть принято на любом из этапов проектирования. Заказчику представляют отчет о проделанной работе и объяснение причин ее прекращения.

В первом случае при завершении проектирования рекомендуют еще раз проанализировать полученное решение, особенно на возможность максимального повышения степени унификации, стандартизации, преемственности и технологичности. Наиболее эффективным методом улучшения решения является метод функционально-системного анализа (функционально-стоимостной анализ) (ФСА), описанный в литературе [108].

Это метод системного исследования функций объекта с целью поиска баланса между себестоимостью и полезностью. На практике теория ФСА нашла широкое применение в отраслях машиностроения, электротехнической и электронной промышленности, а также в менеджменте.

В ряде случаев (важное задание, высокие требования к решению) по завершении работ проводят экспертизу проекта: внутреннюю или внешнюю (независимую). Приемку работы оформляют актами, причем проверяется не только качество результата разработки, но и комплектность документации.

Во втором случае прекращение работы может быть обусловлено, наряду с техническими (несоответствие конструкции реальным технологическим возможностям, недостаточная эффективность системы), также экономическими и социально-политическими обстоятельствами.

С заказчиком согласуют вопросы о разделении ответственности и понесенных расходов; о причинах неудовлетворительности полученных результатов и целесообразности возвращении на один из предыдущих этапов проектирования. В последнем случае в исходные данные вносят коррективы (уточнения и дополнения), намечают план последующих действий и повторяют проектные работы [6].

Вопросы для самоконтроля по разделу 3

1. Назовите основные стадии разработки конструкторской документации.
2. Что включает в себя техническое задание?
3. Что включает в себя техническое предложение?
4. Что включает в себя эскизный проект?
5. Что включает в себя технический проект?
6. Что включает в себя рабочий проект?
7. Назовите стадии разработки конструкторской документации, соответствующие этапы выполнения работ и стадии разработки.
8. Каким образом осуществляется сертификация?
9. Назовите структуру проектной деятельности.
10. Назовите принципы построения технического задания.
11. Сформулируйте начальные сведения о задаче при проектировании.
12. Назовите направления маркетинговых исследований и наиболее типичные решаемые задачи маркетинговых исследований.
13. Назовите типовую структуру бизнес-плана.
14. Назовите содержание технического задания.
15. Назовите основные положения анализа исходного задания.
16. Опишите структуру составления списка требований.
17. Какие виды ресурсов при реализации проектных решений можно выделить?
18. На какие этапы разделяется процесс составления перечня (списка) требований к проектируемому объекту?
19. Назовите формы представления технического задания.

20. Что такое опросный лист на проектирование и изготовление? Приведите примеры.
21. Каким образом возможно обеспечение патентной чистоты и преемственности изделия? Каким ресурсами удобно пользоваться для проведения патентного поиска?
22. Что такое компонование? Каким образом оно осуществляется?
23. С какими этапами связано проведение расчетных операций? Какие задачи возникают при проведении технических расчетов?
24. Что выполняется на этапе завершения проектирования?
25. Назовите особенности организации процесса проектирования изделия сложной структуры?
26. Какие подходы применяются при разработке конструкций нетиповых систем?
27. Принятием каких решений завершается проработка проектных вариантов на каждом цикле работы?

4. ЗАВЕРШАЮЩИЕ ЭТАПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

4.1 Принципы составления документов

Разработка любой технической системы связана с документированием результатов работы, такой как проведение научных исследований, проектирование, изготовление. Документация необходима для проведения финансовой отчетности перед заказчиком, для качественного изготовления изделия, правильного хранения и грамотной эксплуатации изделия, его утилизации, а также при необходимости - для воспроизведения результатов.

Комплект проектной документации является практическим результатом реализации проекта. Комплект формируется постепенно, от этапа к этапу процесса проектирования. При составлении документации, как правило, руководствуются рядом принципов, которые способствуют улучшению ее качества, поскольку упрощают ее составление, уменьшают вероятность ошибок, улучшают восприятие и т. п.

К основным принципам относят:

- однозначность изображений и записей во всей документации, не допускающая различного их толкования. Особенно это касается буквенных и числовых обозначений разрезов и сечений, упрощения изображений или в случае совпадения обозначений элементов (например, совпадение обозначения резьбы и шлицев на валу);

- непротиворечивость и согласованность элементов изображений и записей. Это касается, прежде всего, случаев представления изображения изделия (например, компрессора) несколькими видами, разрезами и сечениями или на нескольких листах;

- полноту чертежей и записей, их необходимое и достаточное количество. Так, при выполнении чертежа изделия (детали) число видов, разрезов и сечений должно быть минимальным и определяться условием достаточности изображений, для понимания формы, количества и расположения частей изделия и нанесения необходимой информации (простановка размеров, параметров шероховатости и т.п.). Лишние изображения увеличивают размеры чертежа и затраты времени на его выполнение;

- читаемость, удобство восприятия записей, четкость линий и их достаточную величину. В частности, размерные линии желательно наносить упорядочено, на определенных уровнях. Значки отклонения форм и расположения поверхностей располагают грушами, по уровням и отдельно от размерных линий, так чтобы избежать их пересечений и сложных сплетений;

- размещение записей и изображений на местах, установленных соответствующими стандартами или традициями [9].

4.2 Автоматизация оформления документация

Оформление проектной документации характеризуют точность и пунктуальность, при этом имеют место следующие особенности:

- оформление результатов работ регламентируется стандартами и, по сравнению с другими видами работ, максимально формализовано;

- большая трудоемкость и продолжительность составления; опыт показывает, что при обычном «ручном» проектировании на это уходит не менее 60...80% всей продолжительности разработки изделия;

- при согласовании ТЗ часто приходится значительно перерабатывать (частично или полностью) уже наработанную документацию.

Вычислительные комплексы работают быстро, без отступлений от правил, по жестким алгоритмам. Поэтому в настоящее время оформление проектной документации - наиболее автоматизируемый вид проектных работ. Задача проектировщика в такой ситуации сводится к управлению (выбор объекта, вида документации, компоновка изображений и т.д.) и контролю процессов автоматизированного документирования.

Использование ЭВМ меняет вид и характер документации:

- отсутствуют ранее традиционные носители информации, так называемые «твердые копии» - чертежи и текстовые документы на бумаге. Информация хранится на компьютерных носителях. В процессе работы она передается по проводам или с помощью иных средств связи (если компьютеры включены в единую сеть) или считывается с носителя и только при необходимости оформляется в виде твердых копий;

- в современных системах в качестве результатов проектирования уже выступают команды для автоматизированных технологических комплексов - станков с программным управлением (ЧПУ). Автоматизированная система сама увязывает отдельные части проектируемого объекта и проверяет состыковку размеров, подготавливает команды для станка. Такая система ориентирована, прежде всего, на получение готового изделия, а выпуск документации становится ее дополнительной функцией.

Автоматизация документирования обладает следующими достоинствами:

- возможность активного хранения большого объема информации в виде баз данных (сочетание хранения с оперативным доступом и использованием в работе);

- быстрота поиска нужной информации;

- учет всех требований стандартов и других нормативных документов, оперативное внесение изменений при изменении или введении новых стандартов, замене размерностей физических величин и т. п.;

- рентабельность применения, поскольку резко снижаются сроки проектных работ и повышается качество их результата (вследствие много вариантности и оптимизации, повышения точности расчетов, сведения до минимума субъективных ошибок).

Применение автоматизированных систем обеспечивает снижение физической нагрузки проектировщика, что, однако, не освобождает проектировщика от знаний состава, порядка и правил документирования: проектировщик назначает и формирует необходимые изображения (особенно нетиповых деталей), размещает их в поле чертежа, управляет составлением другой необходимой документации и т.д. [9]

Ниже кратко приведены основные положения по завершающим этапам проектирования технических систем.

4.3 Виды документации

4.3.1 Графическая документация

В зависимости от этапа проектирования проектная документация включает словесное, графическое и параметрическое описания будущего изделия, которое в документации приводится в виде той или иной модели. Рекомендуется формировать исходное представление о системе в виде блок-схемы. Это позволяет обеспечить полноту и чёткость описания решаемой задачи, поскольку при этом рассматриваются свойства объекта, как правило, не связанные с его геометрией (формой и размерами). Блок-схемы (рис. 4.1) представляют собой логическую цепочку блоков, характеризующих исследуемые свойства. Конкретных указаний на изображение формы блоков и их расположение нет, за исключением регламентированных стандартом изображений блок-схем алгоритмов программ. В общем случае блоки изображают в виде прямоугольников, а связи между ними - линиями со стрелками (когда важно указать последовательность перехода от блока к блоку) или без них (когда важно только взаимное расположение блоков).

Размеры блоков и расположение схемы в документе определяется требованиями наглядности и удобства восприятия. Блок-схемы оформляются аналогично рисункам, если являются частью текстового документа, или в качестве плакатов. Блок-схемы всегда сопровождаются поясняющей текстовой или символьной информацией. Это могут быть названия отдельных блоков и видов связи, или их условные обозначения.

Обычные схемы, наряду с исследуемыми свойствами, передают и геометрические признаки объекта. Широко распространены следующие виды схем:

- структурные схемы (рис.4.2), которые отображают наиболее существенные признаки формы и взаимного расположения элементов объекта, определяют их назначение и взаимосвязь;
- расчетные схемы (рис.4.3), которые, как правило, являются структурными и служат для отображения геометрических свойств объекта в тесной связи с исследуемым его свойством, информация о котором дополнительно указывается на схеме.



Рис.4.1 Пример блок-схемы – блок-схема алгоритма формирования процедуры оптимизации системы холодоснабжения [110]

При построении схем руководствуются правилами максимума наглядности, информативности и минимума количества дополнительных изображений. В документе схему располагают либо аналогично расположению реального объекта, либо исходя из удобства се восприятия. Общие правила выполнения схем устанавливает ГОСТ 2.701 [90].

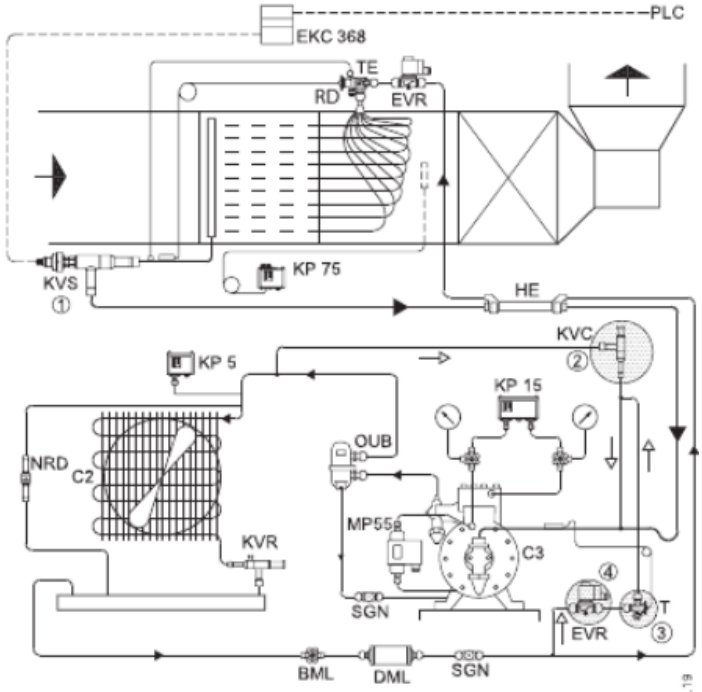


Рис.4.2. Пример структурной схемы – схема холодильной установки для кондиционирования воздуха Danfoss [111]

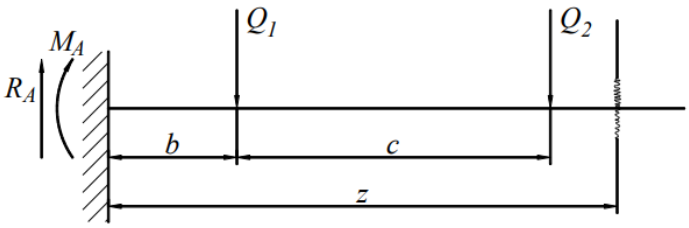


Рис.4.3. Пример расчетной схемы – схема нагружения кронштейна [112]

В официальных документах схемы элементов машин выполняются по ГОСТ 2.770-68 «Единая система конструкторской документации. Обозначения условные графические в схемах. Элементы кинематики» [113]. Но чаще их изображают с отступлениями от стандарта, учитывая традиции и особенности изображений элементов в разных дисциплинах (теоретическая механика, сопротивление материалов, детали машин и другие). В этом случае руководствуются требованиями к оформлению рисунков и эскизов.

Эскиз - это предварительное изображение объекта. Эскиз, по сравнению со схемой, несет более полную информацию о геометрии объекта, приблизительно передает формы его частей (рис.4.4). Эскиз может выполняться как от руки, так и с помощью чертежных инструментов или иными способами.

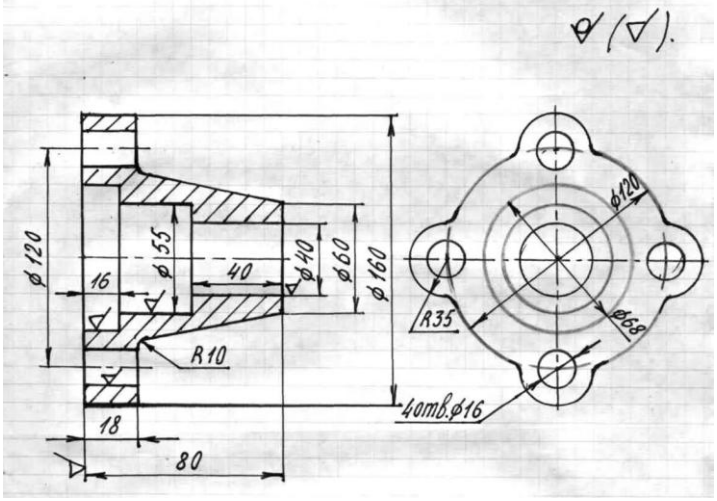


Рис.4.4. Пример эскиза детали

Чертеж - это изображение объекта в масштабе, которое не только позволяет установить назначение и взаимосвязь объекта и его частей, но и определить их реальные размеры и взаимное расположение. Может быть упрощенным или же полностью совпадающим с соответствующим ему объектом. Является наиболее полной геометрической моделью реального объекта [9].

4.3.2 Электронная документация

Содержит информацию в виде специальных символов, кодов и сигналов, являются оперативная память компьютеров и т.д. Эти носители обладают огромной емкостью, позволяют вести быструю обработку информации, удобны при транспортировке и хранении, но при отсутствии соответствующего

оборудования и программного обеспечения содержащаяся на них информация недоступна человеку. Носители компьютерной информации все больше вытесняют текстовую и графическую документацию. При желании (и наличии программно-технического обеспечения) информация с этих носителей может быть считана и отображена в виде текста и графических изображений (например, на экране монитора) и, при необходимости, оформлена (распечатана) в привычном для текстовой и графической документации виде.

Общие требования к разработке, хранению, обращению и применению конструкторских документов в России регламентированы стандартами «Единой системы конструкторской документации (ЕСКД)». Внедрение современных информационных технологий в эти процессы требовало адаптации комплекса стандартов ЕСКД к новым условиям. В 2006 году в группу «Общие положения» стандартов ЕСКД были внесены изменения, целью которых является обеспечение равноправного представления технической информации в бумажном и электронном виде. Таким образом, стандарты ЕСКД предусматривают:

- наличие двух форм КД: традиционной (бумажной) и электронной;
- равноправность статусов двух форм представления КД и возможность их преобразования друг в друга;
- ввод в ЕСКД новых понятий (электронная структура изделия, электронная модель изделия) и видов конструкторских документов;
- правила отображения новых видов КД в существующие виды традиционных КД там, где это возможно, а также признание факта существования электронных документов, не отображаемых в традиционные виды КД (электронная структура изделия, 3D-модели, видео- и аудио документы).

ГОСТ Р 2.051-2023 — национальный стандарт Российской Федерации «Единая система конструкторской документации. Электронная конструкторская документация. Основные положения» [114] устанавливает общие требования к выполнению электронных конструкторских документов (ДЭ) изделий всех отраслей промышленности. ДЭ выполняют на стадии разработки изделия и применяют на всех последующих стадиях жизненного цикла изделия. ДЭ получают с помощью программно-технических средств в результате автоматизированного проектирования (разработки) или преобразования документов, выполненных в бумажной форме, в электронную форму.

Выделим основные термины:

-автоматизированная система – система, состоящая из персонала и комплекса средств автоматизации его деятельности, реализующая информационную технологию выполнения установленных функций;

-атрибут – элемент данных, который выражает определенную характеристику документа и имеет имя и значение;

-интерактивный электронный документ – документ, информация содержательной части которого доступна в интерактивной форме;

-информационная единица – файл или набор взаимосвязанных файлов, рассматриваемый как единое целое;

-электронный носитель – материальный носитель, используемый для записи, хранения и воспроизведения информации, обрабатываемой с помощью средств вычислительной техники;

-визуализация – отображение информации в пригодной и понятной для восприятия человеком форме (программными и/или техническими средствами)

Базовая классификация электронных конструкторских документов приведена на рис.4.5.

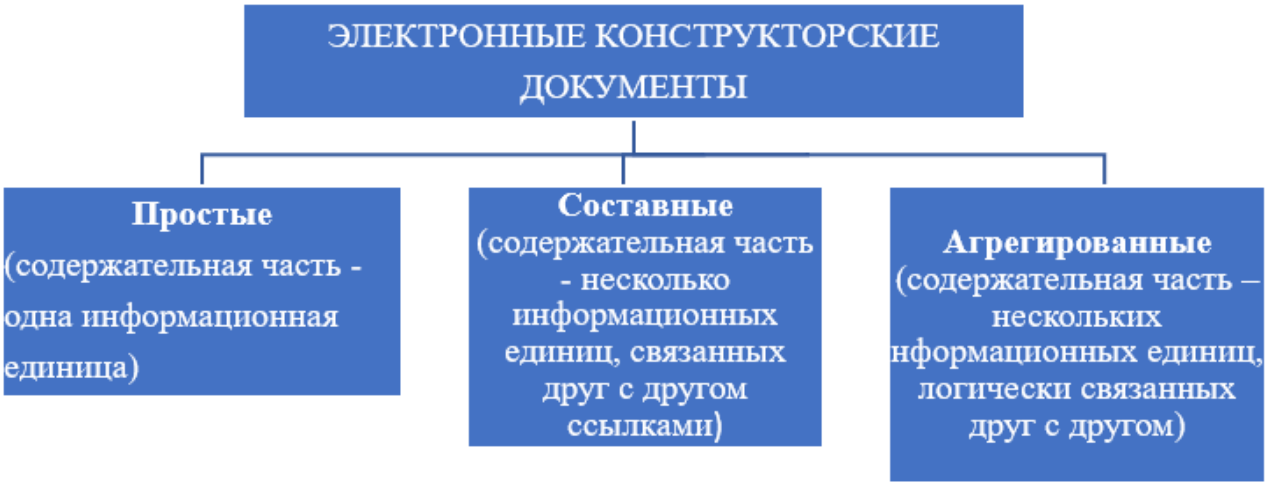


Рис.4.5. Классификация электронных конструкторских документов

Электронный конструкторский документ (ДЭ) – конструкторский документ, выполненный в электронной форме как структурированный набор данных, состоящий из содержательной и реквизитной частей. Реквизитная часть состоит из структурированного (сгруппированного) по назначению набора реквизитов и их значений. Номенклатура реквизитов ДЭ - по ГОСТ 2.104. Содержательная часть состоит из одной или нескольких ИЕ (файлов), содержащих необходимую информацию об изделии. Содержательная часть может состоять раздельно или в любом сочетании из текстовой, графической, мультимедийной информации.

Во внутреннем (подлинном) виде электронный документ существует только в виде записи информации, составляющей электронный документ, на электронном носителе и воспринимаемом только программно-техническими средствами. Внешним является представление электронного конструкторского документа в доступной для визуального восприятия форме. Для получения формы внешнего представления внутреннее представление электронного документа должно быть преобразовано к требуемому виду различными техническими средствами отображения данных (дисплеями, печатающими устройствами и др.).

4.3.3 Конструкторская документация

Конструкторская документация связана с разработкой конструкции изделия и содержит сведения по составу и устройству изделия, необходимые для его изготовления, контроля, приемки, эксплуатации и ремонта. Внешним признаком конструкторской документации является наличие рамки и основной надписи (рис.4.6 – рис.4.9), которая оформляется по ГОСТ Р 2.104-2023 «Единая система конструкторской документации. Основные надписи» [115] и бывает двух видов - на первый и последующие (уменьшенная) листы. Документация подразделяется на текстовую и графическую.

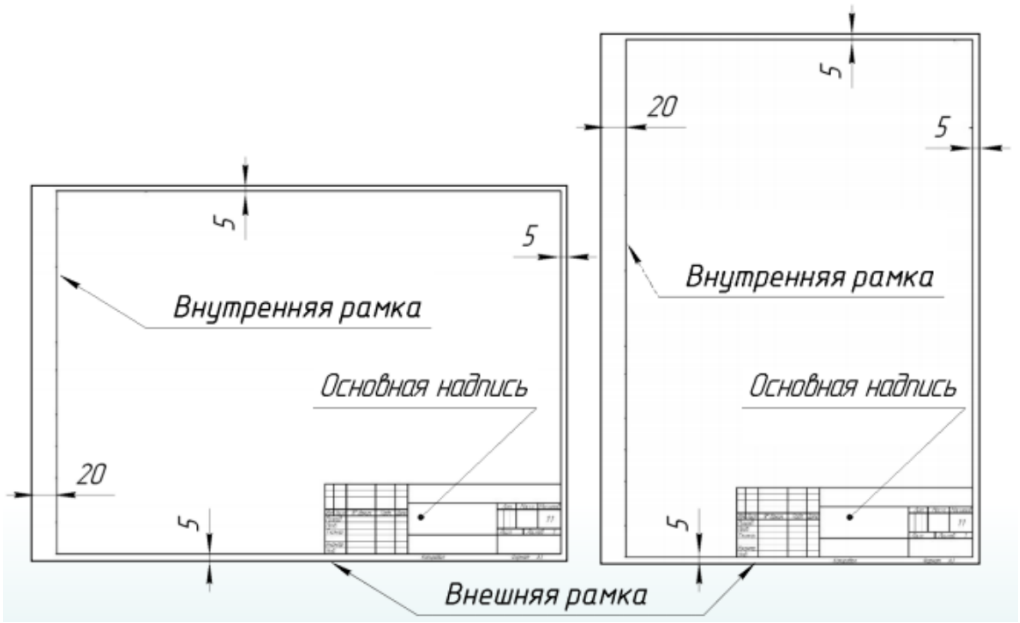


Рис.4.6. Рамка поля чертежа

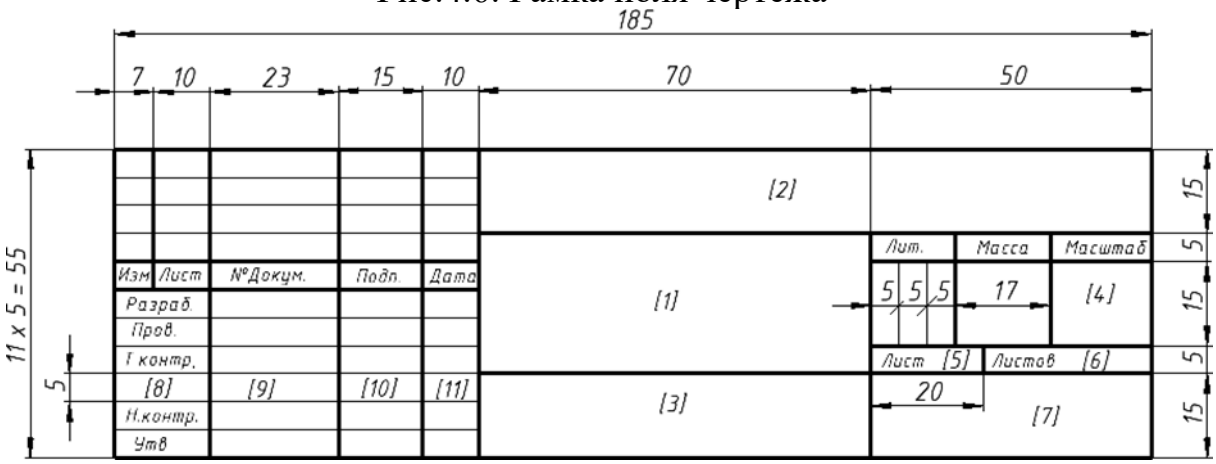


Рис.4.7. Основная надпись на чертежах по форме 1

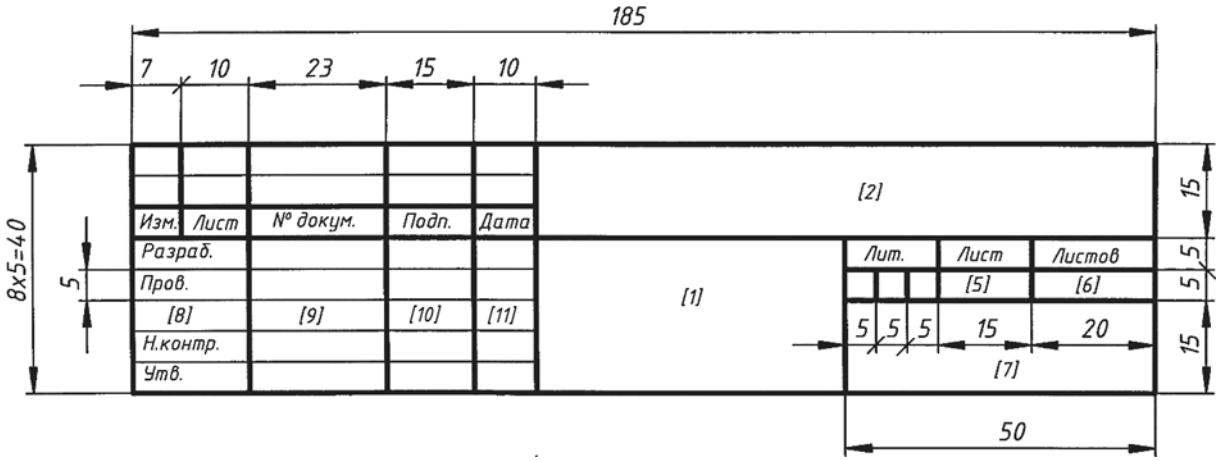


Рис.4.8. Основная надпись на чертежах по форме 2

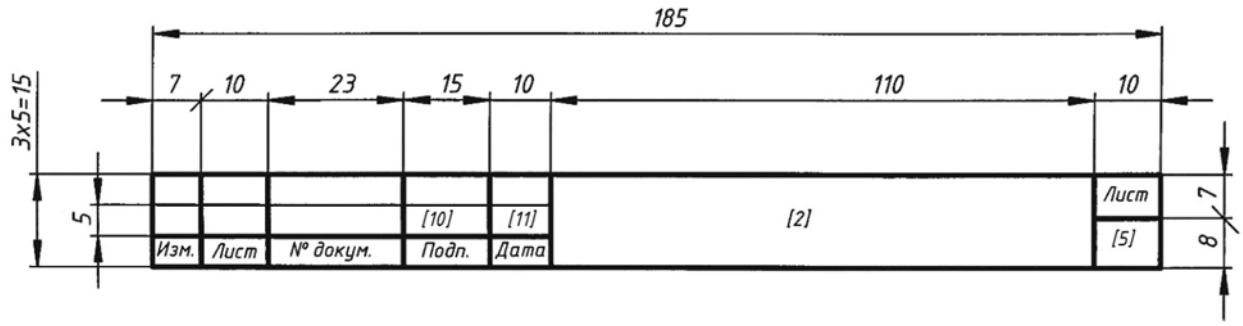


Рис.4.9. Основная надпись для чертежей и текстовых конструкторских документов (последующие листы) по форме 2а

4.3.3.1 Текстовая конструкторская документация

Обычно оформляется на листах формата А4. Ее состав регламентирует ГОСТ Р 2.106 «Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Текстовые документы» [116]. Прежде всего, это следующие документы.

Спецификация. Относится к обязательным документам на составное (специфицируемое) изделие - сборочную единицу, комплекс, комплект. Полностью и однозначно определяет состав изделия и относящихся к нему конструкторских документов. Сведения, содержащиеся в спецификации, группируют по разделам, которые располагают в следующем порядке [9] (ГОСТ 2.108):

- документация - проектная (в т. ч. чертежи и пояснительная записка), рабочая, эксплуатационная, ремонтная;
- комплексы (приводится их перечень);
- сборочные единицы (приводится их перечень);
- детали (приводится их перечень в порядке, определяемом ростом индекса обозначения, который назначается по ГОСТ 2.201 или в соответствии с внутренними правилами организации-разработчика);

- стандартные изделия. Их группируют по видам стандартов (государственные, отраслевые, предприятий), а внутри каждого вида стандарта - по функциональному назначению. В пределах функциональной группы записи следуют в алфавитном порядке наименований изделий, а в пределах каждого наименования - в порядке возрастания номера стандарта и, затем, основного параметра изделия. Например: группы - крепежные изделия, подшипники; в группе «Крепежные изделия» - винты, гайки; в группе «Винты» - ГОСТ 1491-80, ГОСТ 17473-80; в группе «Винты, ГОСТ 1491-80» - М2*6, М3*6;

- прочие изделия. Здесь приводят изделия, потребность в которых может возникнуть в процессе изготовления или комплектации или которые по своему назначению и условиям применения не попадают в остальные разделы спецификации. Записи производят по однородным группам, в пределах которых - в алфавитном порядке наименований изделий, а в пределах каждого наименования - в порядке возрастания основных параметров;

- материалы. Здесь указываются такие расходуемые материалы, количество, размеры и форма которых определяются в момент сборки или комплектации изделия и т. п. (например, смазка, вырезаемая из листа резиновая прокладка). Материалы приводят в следующей последовательности: металлы - пластмассы - бумага и текстиль - дерево - резина и кожа - минеральные, керамические, стеклянные - лаки, краски и нефтепродукты - прочие. Порядок записи внутри груш аналогичен записи прочих изделий;

- комплекты. Здесь вносят ведомость эксплуатационных документов и комплекты монтажных и запасных частей, тары и т. п. Спецификация включает в себя следующие графы:

- графа «Формат» - здесь приводят формат составляющих спецификацию документов;

- графа «Позиция» - здесь приводят порядковые номера составных частей специфицируемого изделия в последовательности их записи в спецификации. Возможен пропуск отдельных номеров как резервных;

- графа «Зона» - здесь указывают обозначение зоны, где находится номер позиции составной части изделия при разбивке поля чертежа на зоны;

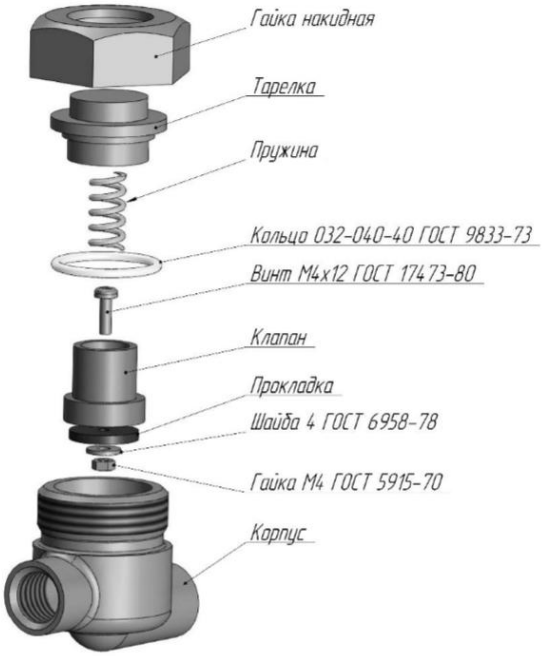
- графа «Обозначение» - здесь указываются обозначения документов, назначаемые по ГОСТ 2.201 или в соответствии с внутренними правилами предприятия;

- графа «Количество» - здесь указывают количество составных частей изделия, приведенных в спецификации, либо общее количество используемых материалов;

- графа «Примечание» - здесь приводят дополнительные сведения для планирования и организации производства и других целей.

Спецификация заполняется на отдельных листах формата А4. Допускается ее совмещение со сборочным чертежом, если он выполнен на листе формата А4, располагая ее при этом под изображением над основной надписью.

Пример сборочной единицы и ее спецификации представлен на рис.4.10.



Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Приме-чание
		Документация		
		Сборочный чертеж	1	
		Детали		
1	БИГЕ.713351.01	Клапан	1	
2		Корпус	1	
3		Прокладка	1	
4		Тарелка	1	
5		Пружина	1	n_1=5,5
6		Гайка	1	
		Стандартные изделия		
7		Винт М4х12 ГОСТ 17473-80	1	
8		Гайка М4 ГОСТ 5915-70	1	
9		Шайба 4 ГОСТ 6958-78	1	
10		Кольцо 032-040-40 ГОСТ 9833-73	1	

Разраб. Петров
Пров. Иванов
Н.контр.
Утв.

Клапан переливной

Лит. | Лист | Листов 1

МГТУ им. Баумана
Кафедра "Графика"
группа ИБ2-21

Копировал Формат А4

Рис.4.10. Сборочная единица и спецификация

Ведомость спецификаций. Содержит перечень всех спецификаций составных частей изделия с указанием их количества и принадлежности (входимость). Составляется, если количество специфицируемых изделий больше одного. Пример представлен на рис. 4.11.

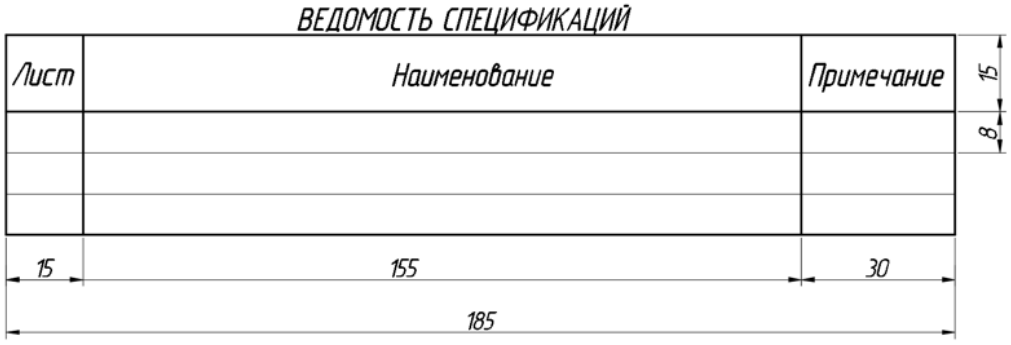


Рис.4.11. Шаблон ведомости спецификаций

Пояснительная записка. Документ обязательный и содержит описание устройства, обоснование принятых при его разработке технических и технико-экономических решений. Необходима для проверки правильности полученных

результатов или воспроизведения проделанной работы. Составляется на листах формата А4, но входящий в нее графический материал может быть представлен и на листах большего формата. Листы имеют рамку, дополнительные графы и основную надпись по ГОСТ 2.104. В общем случае записка включает разделы:

- введение;
- назначение и область применения проектируемого изделия, его техническая характеристика;
- описание и обоснование выбранной конструкции;
- расчеты, подтверждающие правильность принятых решений;
- ожидаемые технико-экономические показатели [9].

Пример элемента пояснительной записки представлен на рис. 4.12.

Технические условия (ТУ). Содержат требования к изделию (показатели качества и эксплуатационные характеристики), к его изготовлению, контролю, приемке и поставке. Составляются для самостоятельно поставляемых изделий. ТУ являются выборкой из пояснительной записки сведений по изготовлению, эксплуатации и т.п. и сопровождают проектную графическую документацию на этапе изготовления и эксплуатации. Разновидностью ТУ являются правила по эксплуатации изделия [9]. ГОСТ 2.114-2016 Единая система конструкторской документации. Технические условия [117] устанавливает общие требования, правила и нормы к выполнению технических условий. Стандарт распространяется на изделия машиностроения и приборостроения всех отраслей промышленности.

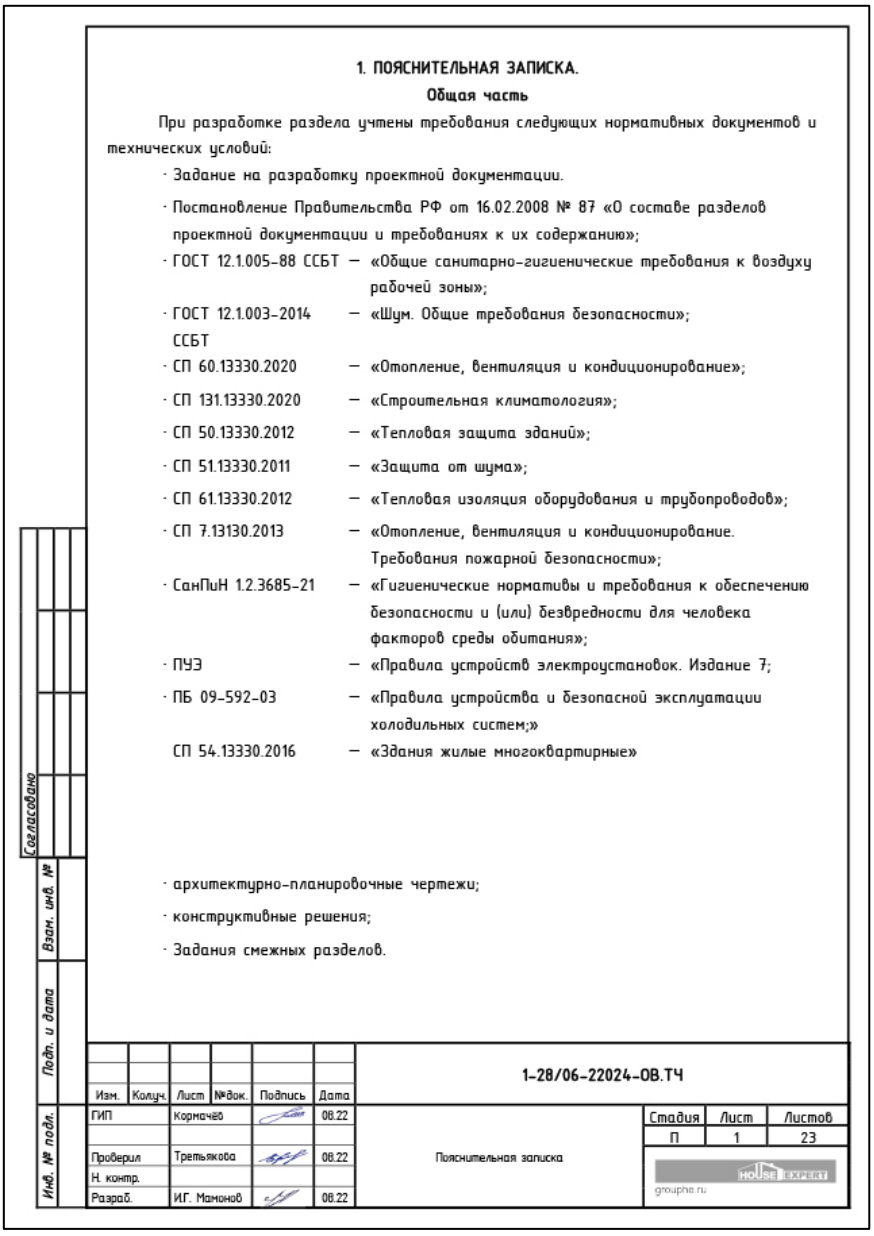
Программа и методика испытаний. Содержит технические данные, которые подлежат проверке при испытании изделия, а также порядок и методы их контроля (вид, последовательность и технические средства испытания).

ГОСТ 19.301-79 Единая система программной документации. Программа и методика испытаний. Требования к содержанию и оформлению [118] устанавливает требования к содержанию и оформлению программного документа «Программа и методика испытаний»

Документ должен содержать следующие разделы:

- «Объект испытаний». Указывают наименование, область применения и обозначение испытуемой программы.
- «Цель испытаний». Должна быть указана цель проведения испытаний.
- «Требования к программе». Должны быть указаны требования, подлежащие проверке во время испытаний и заданные в техническом задании на программу.
- «Требования к программной документации». Должен быть указан состав программной документации, предъявляемой на испытания, а также специальные требования, если они заданы в техническом задании на программу.
- «Средства и порядок испытаний». Должны быть указаны технические и программные средства, используемые во время испытаний, а также порядок проведения испытаний.

- «Методы испытаний». Должны быть приведены описания используемых методов испытаний.



1. ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА.

Общая часть

При разработке раздела учтены требования следующих нормативных документов и технических условий:

- Задание на разработку проектной документации.
- Постановление Правительства РФ от 16.02.2008 № 87 «О составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию»;
- ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ – «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны»;
- ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ – «Шум. Общие требования безопасности»;
- СП 60.13330.2020 – «Отопление, вентиляция и кондиционирование»;
- СП 131.13330.2020 – «Строительная климатология»;
- СП 50.13330.2012 – «Тепловая защита зданий»;
- СП 51.13330.2011 – «Защита от шума»;
- СП 61.13330.2012 – «Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов»;
- СП 7.13130.2013 – «Отопление, вентиляция и кондиционирование. Требования пожарной безопасности»;
- СанПиН 1.2.3685-21 – «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания»;
- ПУЭ – «Правила устройств электроустановок. Издание 7;
- ПБ 09-592-03 – «Правила устройства и безопасной эксплуатации холодильных систем;»

СП 54.13330.2016 – «Здания жилые многоквартирные»

- архитектурно-планировочные чертежи;
- конструктивные решения;
- Задания смежных разделов.

Согласовано

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

Изм.	Колуч.	Лист	№док.	Подпись	Дата	1-28/06-22024-ОВ.ТЧ		
ГИП		Корначёв			08.22	Пояснительная записка	Стадия	Лист	Листов
							П	1	23
Проверил		Третьякова			08.22				
Н. контр.									
Разраб.		И.Г. Мамонов			08.22				

groupha.ru

Рис.4.12 Пример элемента пояснительной записки

Эксплуатационные документы. Предназначены для обеспечения нормальной эксплуатации изделия, его обслуживания и ремонта.

Патентный формуляр. Содержит сведения патентной чистоте спроектированного изделия, а также о созданных и об использованных при его разработке изобретениях [9]. ГОСТ 15.012-84 «Система разработки и постановки продукции на производство. Патентный формуляр» [119] устанавливает порядок составления и оформления патентного формуляра на объекты техники (рис.4.13).

Под объектами техники в стандарте понимаются машины, приборы, оборудование (устройства), материалы (вещества), штаммы (культуры микроорганизмов), другие виды промышленной продукции и технологические процессы (способы), применяемые при её производстве, а также объекты капитального строительства.



_____
наименование или условное обозначение организации (предприятия)

УТВЕРЖДАЮ
Должность, личная подпись, расшифровка подписи
Дата

М. П.

ПАТЕНТНЫЙ ФОРМУЛЯР

на _____
наименование и условное обозначение объекта техники

_____
обозначение документа

Составлен на основании отчета о патентных исследованиях _____
номер

_____
и дата

На _____ листах

Руководитель подразделения-исполнителя — Личная подпись, Дата — Расшифровка подписи

Руководитель патентного подразделения — Личная подпись, Дата — Расшифровка подписи

Год

Рис.4.13 Титульный лист патентного формуляра

Карта технического уровня и качества изделия. Содержит данные, определяющие технический уровень (уровень качества) изделия и его соответствие лучшим отечественным и зарубежным достижениям, а также потребностям заказчика (рис.4.14). Необходима для оценки целесообразности дальнейшей разработки и производства изделия, модернизации выпускаемой продукции и снятия её с производства или эксплуатации, аттестации и государственной регистрации продукции. Порядок составления и ведения карты уровня описан в межгосударственном стандарте ГОСТ 2.116-84 «Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Карта технического уровня и качества продукции» [120].

Форма 1

Код карты	Код формы	Код этапа
	1	

Дата составления карты уровня	04	
Регистрационный номер	05	
Дата регистрации	06	
Дата внесения изменений	07	

1. ОБЩИЕ ДАННЫЕ О ПРОДУКЦИИ

Назначение и область применения продукции	08	
Характеристика продукции	09	
Головная организация	10	
Ведущее министерство	11	
Организация (предприятие)-разработчик	12	
Министерство-разработчик	13	
Дата начала разработки	14	
Дата окончания разработки	15	
Дата и номер акта приемки опытного образца (опытной партии)	16	
Предприятие-изготовитель	17	
Министерство-изготовитель	18	
Дата начала серийного производства	19	
Норматив срока обновления	20	
Обозначение НТД	21	
Код плана	22	
Код позиции плана	23	
Страны, в которых продукция обладает патентной чистотой	24	
Страны, в которые экспортируется продукция	25	
Результаты оценки технического уровня и качества продукции	26	
Рекомендации приемочной комиссии	27	
Экономический эффект	28	
Лимитная цена	29	

Рис.4.14 Форма карты технического уровня и качества изделия

4.3.3.2 Графическая конструкторская документация

В состав графической конструкторской документации входят нижеперечисленные документы.

Чертеж детали (рис.4.15). Обязательный документ. Содержит изображение детали и все данные, необходимые для ее изготовления и контроля. Основные требования и правила выполнения рабочих чертежей приведены в ГОСТ 2.107, 2.109.

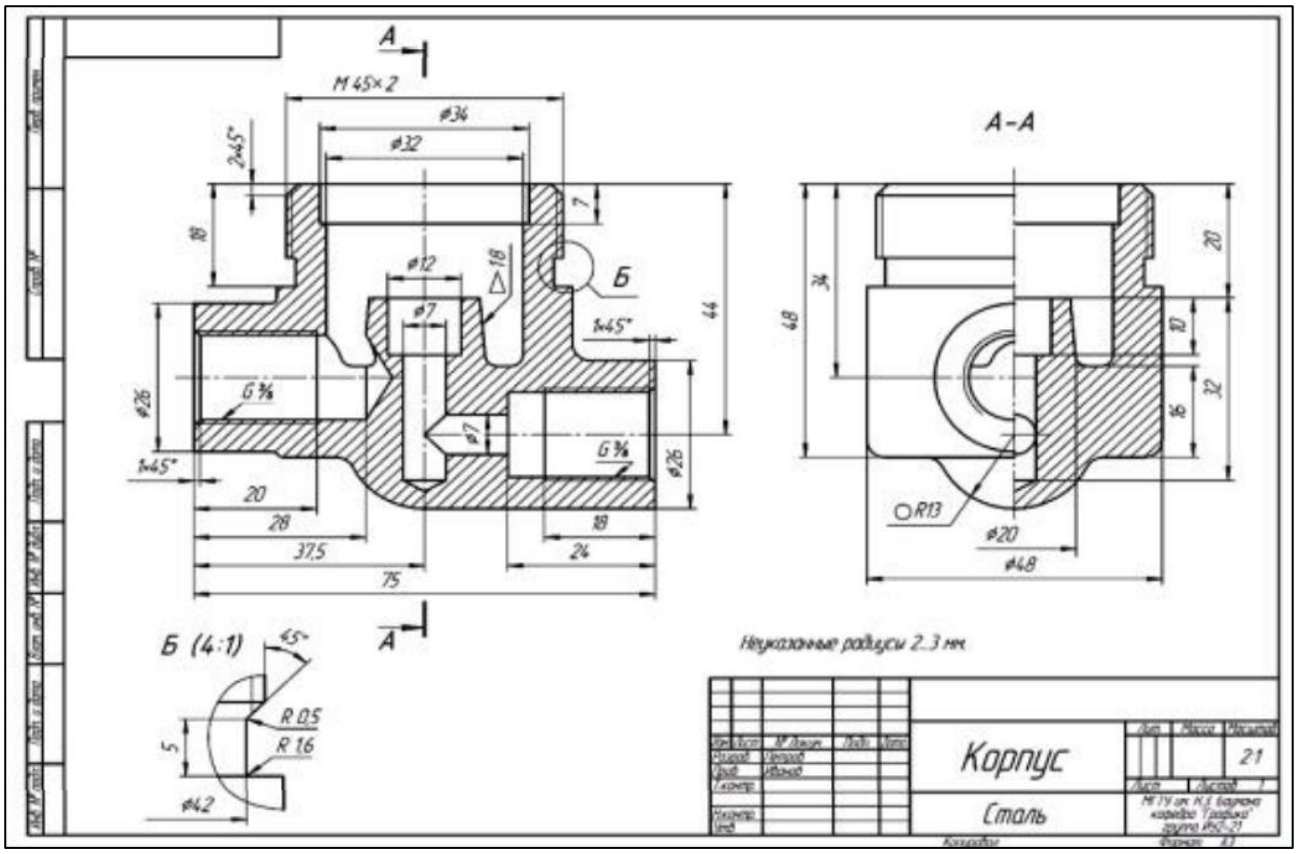


Рис.4.15 Пример чертежа детали

Чертежи разрабатывают на все детали, входящие в состав изделия. Допускается не выпускать чертежи в следующих случаях:

- на детали, изготавливаемые из фасонного или сортового материала отрезкой под прямым углом или из листового материала резкой по окружности или периметру прямоугольника без последующей обработки;
- на детали единичного производства, если их форму и размеры устанавливают по месту (в процессе монтажа, сборки) или полно определяют размерами, указанными на сборочном чертеже;
- на покупные детали, подвергаемые антикоррозионному или декоративному покрытию, не изменяющему характер сопряжения со смежными деталями. В этом случае указание о покрытиях приводят на сборочном чертеже.

Чертеж детали содержит [9]:

- изображение детали. Количество изображений должно быть минимальным, но при этом давать полную и ясную информацию об этой детали, с размерами с предельными отклонениями, параметрами шероховатости и, при необходимости, отклонениями форм и расположения поверхностей;
- текстовую часть, состоящую из технических требований и технических характеристик;
- таблицы с параметрами, техническими требованиями, условными обозначениями и т. п.;

- основную надпись и дополнительные графы, предусмотренные стандартом на конструкторские документы;

- сведения о марке материала или заготовки, из которой деталь изготовлена (марка должна быть увязана с размерами заготовки и данными предприятия-изготовителя). Эти сведения помещают в графе основной надписи.

Обычно заполнение чертежа детали (как и других видов чертежей) проводят в следующем порядке:

а) выбирают формат чертежа (из предварительной оценки потребного места под изображение детали), наносят рамку, дополнительные графы, отводят место под основную надпись;

б) отводят (бронируют) место под общее обозначение шероховатости или обозначение шероховатости неуказанных поверхностей;

в) отводят место (и заполняют) под таблицу параметров. Так, например, для зубчатых колес (цилиндрических, конических, червячных) таблица содержит параметры зацепления и обязана располагаться в соответствии с нормативом. Высота и содержание таблицы определяются соответствующим стандартом на данную деталь;

г) отводят место под текст технических требований, который располагается над основной надписью. Требования имеют сквозную нумерацию и следуют пункт за пунктом, колонкой шириной не более 185 мм. На листах формата А4 их допускают размещать более чем в одну колонку.

Рекомендуется следующая последовательность изложения технических требований (их содержание охватывает не только рабочие чертежи, но и другие виды графических документов):

- требования к материалу, заготовке, термообработке и физико-техническим методам обработки. При этом приводятся механические характеристики материала готовой детали, указание на материалы-заменители. Например, «НВ - 200...240», «Заготовка - ..»;

- размеры и/или предельные отклонения размеров, формы, взаимного расположения, массы и т. п. Например, «Обработку по размерам в квадратных скобках производить совместно с деталью...», «Неуказанные предельные отклонения размеров...», «Дисбаланс не более ...г*мм. Металл при балансировке удалять», «* Размеры для справок, **Размер обеспечивается инструментом», «Неуказанные радиусы R.... мм»;

- требования к качеству поверхности, указания об их отделке. Например, «Покрытие -...»;

- зазоры, расположение отдельных элементов конструкции;

- требования, предъявляемые к настройке и регулированию изделия;

- требования к качеству изделия (бесшумность, самоторможение, отсутствие дефектов и т. п.);

- условия и методы испытаний;

- указания по маркированию и клеймению;

- правила транспортирования и хранения;

- особые условия эксплуатации;

- ссылки на другие документы, содержащие необходимые технические требования, но не приведенные на данном чертеже.

Текстовые требования помещают только на первом листе, если чертеж выполняется более чем на двух листах;

д) на оставшемся свободном поле чертежа помещают изображение детали (изделия). При недостатке места размер чертежа увеличивают, переходя к большему формату.

Электронная модель детали (рис.4.16). Документ, содержащий электронную геометрическую модель детали и требования по ее изготовлению и контролю. Для электронной модели детали используются следующие ГОСТы: ГОСТ 2.056-2021 «Единая система конструкторской документации. Общие положения» [120], ГОСТ Р 2.056-2024 «Единая система конструкторской документации. Электронная модель детали. Общие требования» [122].

ГОСТ 2.056-2024 устанавливает общие положения к выполнению электронных моделей деталей (ЭМД) изделий машиностроения и приборостроения. ЭМД выполняется программно-техническими средствами только в электронной форме и предназначена для использования в компьютерной среде.

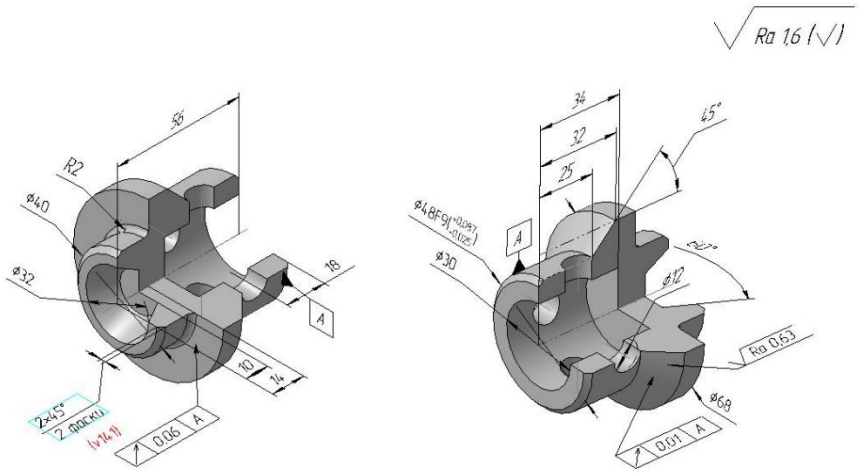


Рис.4.16. Пример электронной модели детали

ЭМД является основным конструкторским документом и должна содержать все данные, необходимые для изготовления и контроля детали в соответствии с требованиями ГОСТ 2.052.

Обозначим некоторые термины:

Атрибут модели - размер, допуск, текст или символ, требуемый для определения геометрии изделия или его характеристики.

Геометрический элемент - идентифицированный геометрический объект, используемый в наборе данных. Геометрическим объектом может быть точка, линия, плоскость, поверхность, геометрическая фигура, геометрическое тело.

Данные расположения - данные, определяющие размещение и ориентацию изделия и его составных частей в модельном пространстве в указанной системе координат.

Информационный уровень - свойство системы автоматизированного проектирования, позволяющее группировать геометрическую и символическую информацию.

Модельное пространство - пространство в координатной системе модели, в котором выполняется геометрическая модель изделия.

Основная геометрия модели - совокупность геометрических элементов, представляющих форму и размеры геометрической модели.

Плоскость обозначений и указаний - плоскость в модельном пространстве, на которую выводится визуально воспринимаемая информация, содержащая значения атрибутов модели, технические требования, обозначения и указания.

Геометрическая целостность (электронной геометрической модели) - свойство электронной геометрической модели изделия, определяющее, что при ее построении и преобразованиях (выполнении поворота, переноса и других операций преобразования) сохраняется целостность данных содержательной части.

Аннотация - текстовый атрибут модели.

ЭМД должна содержать:

-основную геометрию детали;

-конструкторские и технологические требования (при необходимости) физические параметры (согласно ГОСТ 2.109), необходимые для выполнения расчетов (прочностных, весовых и т.д.), математического моделирования, разработки технологических процессов и др.

- другие данные (при необходимости).

Оформление электронной модели детали ЭМД следует разрабатывать в соответствии с учетом:

- общих требований к проектированию (разработке);

- данных расположения;

- требований к изготовлению и контролю, действующих на изделия конкретных видов техники с учетом их специфики.

Технические требования рекомендуется излагать в следующей последовательности:

- требования к методу производства;

- требования к материалу или к методу производства заготовки (литье, штамповка и другие виды заготовок), указания о материалах (заменителях);

- размеры, предельные отклонения размеров, формы, взаимного расположения поверхностей, массы и т.п.;

- требования к термообработке (включая требования к упрочнению);

- требования к контролю;

- требования к покрытию;

- условия и методы испытаний;

- указания о маркировке и клеймении;
- правила консервации, хранения и транспортирования;
- дополнительные требования (при необходимости масса заготовки);
- требования к изготовлению (включая требование к методу обработки);
- указание о необходимости составления паспорта.

Сборочный чертеж (рис.4.17). Обязателен при разработке. Он содержит:

- изображение сборочной единицы, дающее представление о расположении и взаимной связи составных частей, соединяемых по данному чертежу, о возможности осуществления их сборки и контроля всего изделия;
- размеры, предельные отклонения и другие параметры и требования, которые должны быть выполнены и проконтролированы по данному чертежу (например, данные о поверхностях, полученных в результате совместной обработки нескольких деталей);
- указания о характере сопряжения и методах его осуществления, если оно обеспечивается подгонкой, пригонкой, сваркой и т. п.;
- номера позиций составных частей, входящих в изделие;
- основные характеристики изделия;
- габаритные, установочные и присоединительные размеры, а также необходимые справочные размеры. Габаритные размеры задают предельные очертания изделия (например, наибольшую длину, высоту и ширину). Установочные размеры определяют размеры частей изделия, по которым оно устанавливается на месте монтажа (например, размеры опорных лап, крепежных отверстий и их координаты). Присоединительные размеры определяют размеры частей изделия, посредством которых оно присоединяется к другому изделию (например, координаты и размер входного и выходного валов передачи);
- координаты центра тяжести (при необходимости).

Сборочные чертежи допускается изображать упрощенно, без технологических элементов форм конструкций (фаски, проточки, уклоны и т. п.). Номера позиций проставляют в соответствии с номерами, указанными в спецификации этой сборочной единицы. Номера располагают параллельно основной надписи чертежа вне контура изображения и группируют в колонку или в строчку, по возможности по одной линии.

На сборочных чертежах изделий, включающих детали, на которые допускается не выпускать чертежи, приводят дополнительные данные, необходимые для изготовления этой детали, т.е. наборы данных, проставляемые на чертежах детали.

При указании технической характеристики изделия (например, мощности, передаточного числа и т. п.), ее размещают отдельно от технических требований, с самостоятельной нумерацией пунктов, на свободном поле чертежа под заголовком «Техническая характеристика». При этом над техническими требованиями помещают заголовок «Технические требования» и оба эти заголовка не подчеркивают.

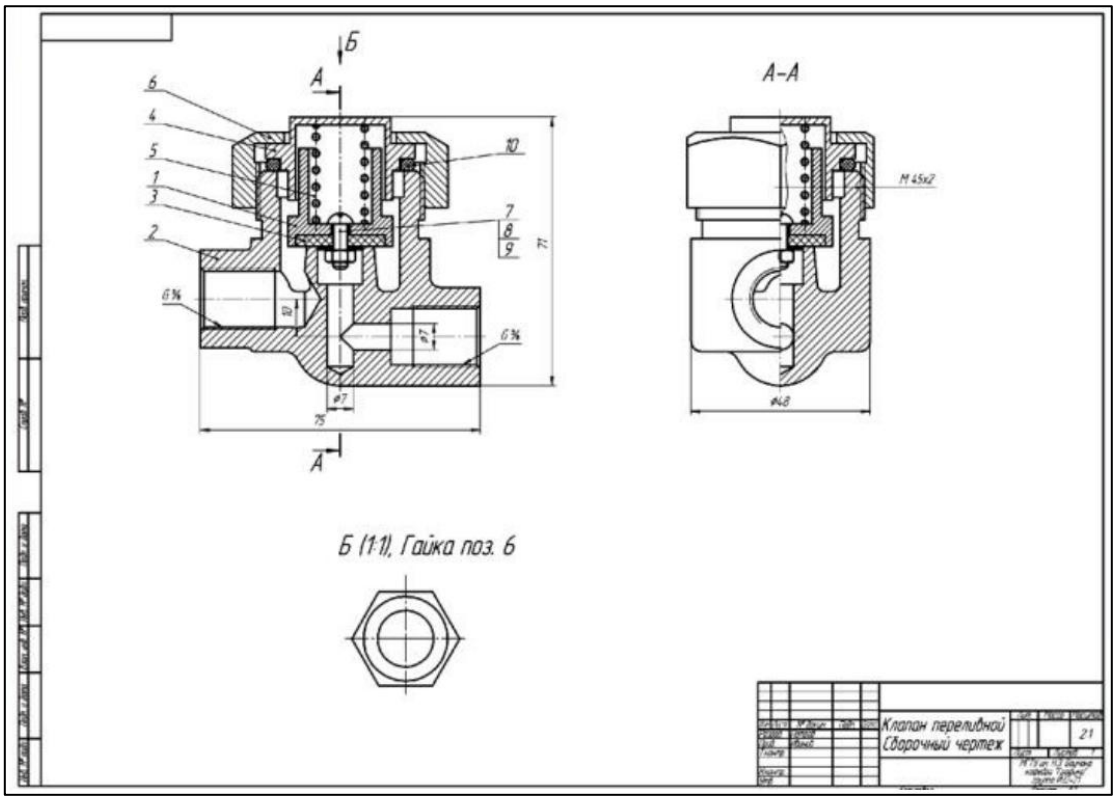


Рис.4.17. Пример сборочного чертежа

Электронная модель сборочной единицы (рис.4.1). Документ, содержащий электронную геометрическую модель сборочной единицы, соответствующие электронные геометрические модели составных частей, свойства, характеристики и другие данные, необходимые для сборки (изготовления) и контроля. ГОСТ Р 2.057-2024 «Единая система конструкторской документации. Электронная модель сборочной единицы. Общие требования» [123]. Устанавливает общие требования к электронному конструкторскому документу вида «Электронная модель сборочной единицы» (ЭМСЕ).

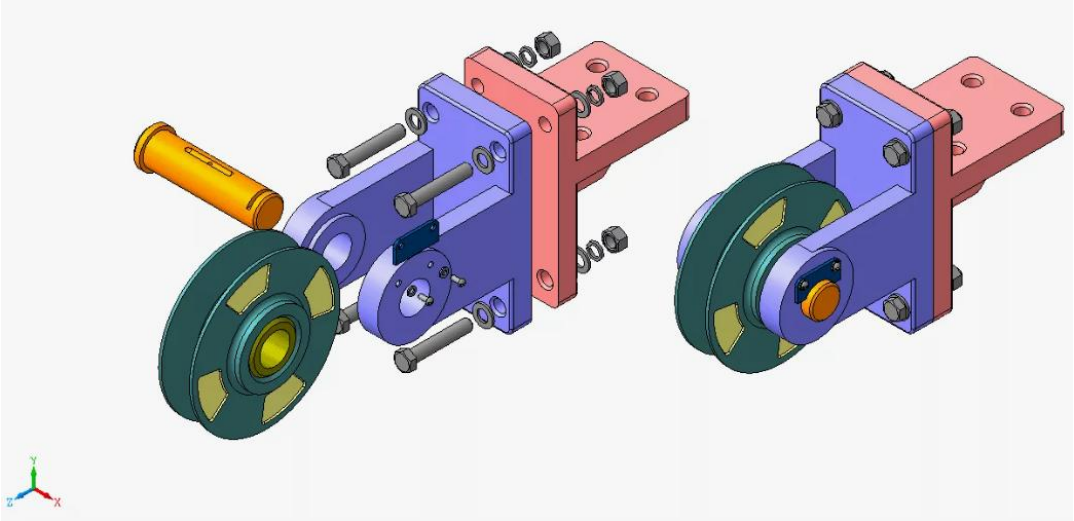


Рис.4.18. Пример электронной модели сборочной единицы

ЭМСЕ следует разрабатывать в соответствии с требованиями:

– общих требований к проектированию (разработке);

– данных расположения, включая ограничения на позиционирование ЭМСЕ;

– требований к изготовлению и контролю, действующих на изделия конкретных видов техники с учетом их специфики.

Степень подробности ЭМСЕ должна соответствовать стадии разработки по ГОСТ 2.103.

Требования к единицам измерения, к системе координат, к точности dыполнения, применению информационных уровней и оформлению ЭМСЕ – по ГОСТ 2.052 и ГОСТ 2.056.

После позиционирования всех ЭМД в модельном пространстве ЭМСЕ разработчик должен проверить зазоры и пересечения.

Взаимопересечения сопрягаемых ЭМД допускаются не более чем на 0,01 мм. Проверку рекомендуется проводить встроенными средствами САПР. В процессе разработки ЭМСЕ следует проверять на геометрическую целостность в соответствии с заданной точностью.

В ЭМСЕ следует указывать следующие размеры:

– установочные и присоединительные размеры;

– габаритные размеры;

– размеры перемычек и шагов крепежных;

– размеры, достигаемые при регулировке, настройке.

Технические требования рекомендуется указывать в последовательности согласно ГОСТ 2.056. Подвижные изделия (приводы, кулисы, клапаны, люки, каретки и т.д.), имеющие при функционировании несколько положений, рекомендуется представлять в ЭМСЕ в нескольких характерных положениях (нейтральное, крайнее, убранное, открытое, закрытое и т.д.), отражая это в структуре ЭМСЕ

Общие требования к обозначению позиций в ЭМСЕ согласно ГОСТ 2.052 и ГОСТ 2.109. Обозначение позиций в ЭМСЕ необходимо выполнять арабскими цифрами на полке линии-выноски с точкой по ГОСТ 2.109.

При необходимости внесения в технические требования ЭМСЕ большого количества обозначений позиций деталей или указания определенных деталей (например, болты устанавливаемые по фланцу на герметике) допускается указание обозначений позиций деталей с установкой выносок и ссылкой на соответствующие ЭМД.

Для обеспечения автоматизированной обработки ЭМСЕ рекомендуется выполнять в виде самостоятельного документа одновременно с электронной спецификацией ГОСТ 2.055. Графы "Формат" и "Зона" допускается не выполнять.

Герметик, клей и заполнитель толщиной до 0,3 мм, смазка, лакокрасочные и другие покрытия толщиной до 0,1 мм в ЭМСЕ моделировать не следует.

Позиционирование деталей, подбор длины крепежных изделий и т.д. выполняются с учетом величин зазоров между деталями и толщины слоя немоделируемого материала. Для каждого геометрически моделируемого

материала следует создавать отдельную ЭМД. Для обозначения геометрически моделируемого материала следует использовать обозначение конечной СЕ с добавлением идентификационного кода атрибута геометрически моделируемого материала.

Чертеж общего вида (рис.4.19). Обязательный документ. Содержит полное изображение изделия, наименования и обозначения составных его частей и текст, необходимые для понимания его принципа работы и устройства.

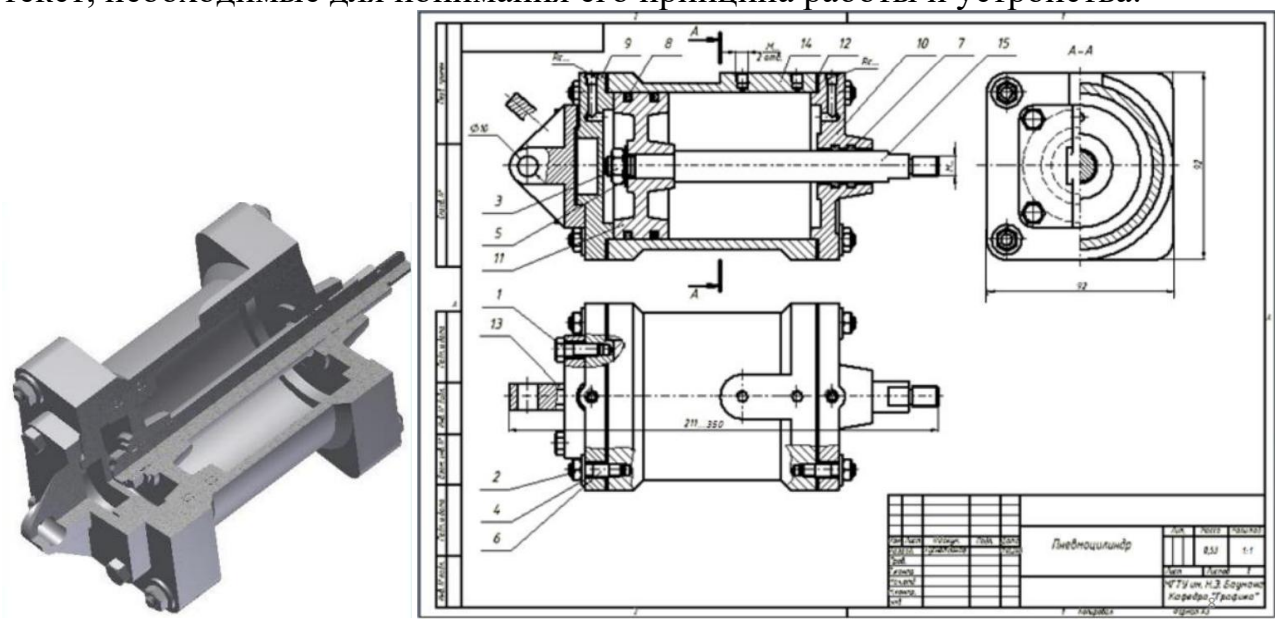


Рис.4.19 Пример чертежа общего вида

Составные части на чертеже указывают на полках-выносках или заносят в таблицу, подобную спецификации, обычно в следующем порядке:

- заимствованные изделия;
- покупные изделия;
- вновь разрабатываемые изделия.

Таблицу можно располагать на чертеже или на отдельных листах формата А4, рассматриваемых как последующие листы чертежа.

На чертеже допускается помещать техническую характеристику изделия. Также на чертеже указывают размеры сопрягаемых поверхностей деталей, входящих в изделие. Эти данные необходимы для разработки рабочих чертежей деталей. С целью пояснения устройства изделия на чертеже наносят габаритные, установочные и присоединительные размеры.

Габаритный чертеж (рис.4.20). Содержит контурное (упрощенное) изображение изделия с габаритными, установочными и присоединительными размерами. Изделие показывают так, чтобы были видны крайние положения подвижных частей, которые дают штрих - пунктирными тонкими линиями. Установочные и присоединительные размеры, если они необходимы для увязки изделия с другими изделиями, проставляют с предельными отклонениями [9].

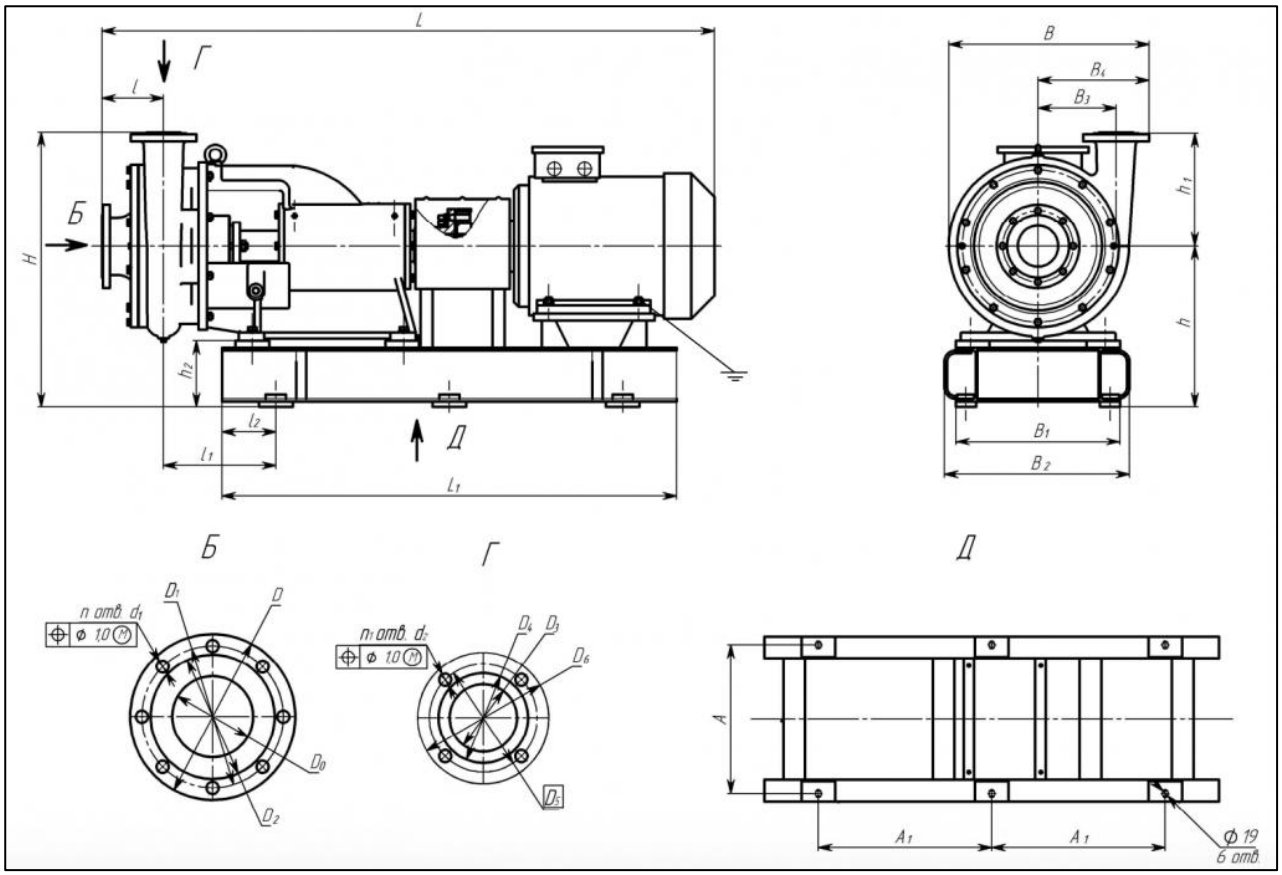


Рис.4.20. Пример габаритного чертежа

Монтажный чертеж (рис.4.21). Содержит контурное изображение изделия и данные, необходимые для его установки на месте применения. Чертеж включает:

- упрощенное изображение монтируемого изделия. Подробно указывают только элементы конструкции, необходимые для правильного монтажа;
- изображение частей устройства (фундамента, рамы и т.п.), которые требуются для правильного определения места и способа крепления изделия;
- установочные и присоединительные размеры с предельными отклонениями;
- технические требования к монтажу изделия;
- перечень составных частей, необходимых для монтажа (на первом листе над основной надписью). В перечне указывают сборочные единицы, детали и материалы, используемые при монтаже [9].

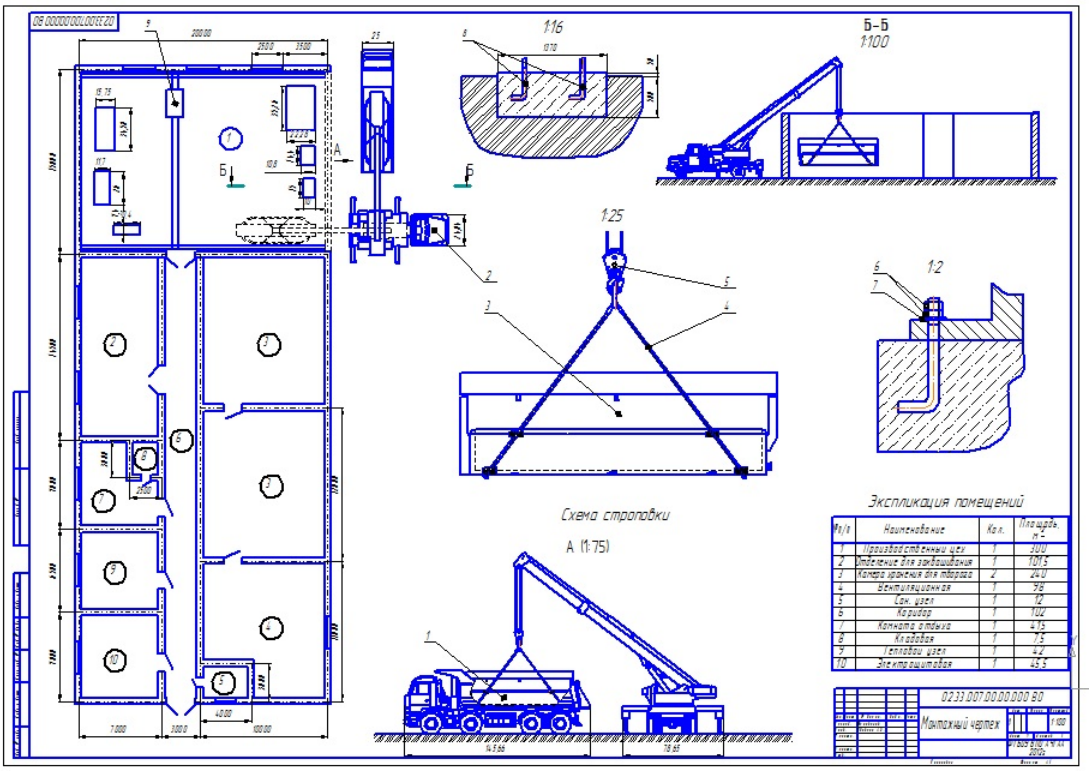


Рис.4.21. Пример монтажного чертежа

4.4 Научно-исследовательский отчет

Возможность разработки любого изделия базируется на результатах соответствующих научно-исследовательских работ. Описание содержания этих работ и полученные результаты приводят в научно-исследовательских отчетах, относящихся к текстовой документации. Отчеты оформляют по ГОСТ 7.32-2017 «Отчёт о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления» [124] на листах формата А4, во многом подобно пояснительной записке. Иллюстрации, таблицы и распечатки при необходимости можно располагать на листах формата А3. В отличие от конструкторской документации листы научного отчета не имеют вычерченных рамок и основной надписи. Номер страницы проставляется в правом верхнем углу. Отчет обычно включает следующие разделы:

- титульный лист (обязательный раздел);
- список исполнителей:
- реферат (обязательный раздел). Здесь указывают объект исследований, цель работы, использованные методы и аппарат, приводят полученные результаты, отмечают их новизну, степень внедрения, область применения и практическую значимость работы, приводят прогноз использования результатов на практике;
- содержание;
- перечень сокращений, условных обозначений, используемых терминов;
- введение (обязательный раздел). Здесь приводят оценку современного состояния решаемой проблемы, причины выполнения данной работы, перечень

исходных данных. Показывают актуальность и новизну работы, ее связь с другими исследованиями;

- основная часть (обязательный раздел);
- заключение (обязательный раздел). Здесь приводятся выводы по результатам выполнения работы и рекомендации по их развитию и использованию, оценивают эффективность внедрения результатов;
- список использованных источников;
- приложения [9].

4.5 Проверка соответствия спроектированной системы законам развития технических систем

В период процесса проектирования и оформления документации разработчиками было проработано, создано и систематизировано много данных, необходимых для создания и изготовления элементов системы и полностью всей системы (изделия).

Поэтому на заключительном этапе проектирования полученная система должна пройти внутреннюю (а иногда - и внешнюю) экспертную оценку на соответствие законам развития технических систем (по Г.С.Альтшуллеру) [125].

Законы развития технических систем условно разделены на три группы, по аналогии с законами технической механики, названными «статикой ТС», «кинематикой ТС» и «динамикой ТС».

Спроектированная техническая система возникла путем синтеза в единое целое отдельных частей. Однако не всякое объединение частей дает жизнеспособную техническую систему. Поэтому для того, чтобы система оказалась жизнеспособной, она должна удовлетворять трем законам «статики технической системы», выполнение которых обязательно.

Первый закон - полноты частей системы, определяющий необходимым условием принципиальной жизнеспособности технической системы минимальную работоспособность основных частей системы.

Каждая техническая система должна включать четыре основные части: двигатель, трансмиссию, рабочий орган и орган управления. Смысл первого закона заключается в том, что для синтеза технической системы необходимо и достаточно: а) наличие этих четырех частей и б) их минимальная пригодность к выполнению функций системы (ибо сама по себе работоспособная часть системы может оказаться неработоспособной в составе той или иной технической системы) [126].

Первый закон может быть пояснен следующим образом: техническая система жизнеспособна в том случае, если все ее части не имеют «двоек», причем оценки ставятся по качеству работы данной части в составе системы. Если хотя бы одна из частей оценена на «двойку», технической системы нежизнеспособна даже при наличии «пятерок» у других частей. Первый закон играет решающую роль в спорах о приоритете: первой следует считать первую жизнеспособную

систему. Приведем ставший хрестоматийным пример сравнительного анализа технической системы.

Так, одни историки считают первым самолетом аппарат братьев Райт, а другие - самолет Можайского, подчеркивая преимущества последнего: обтекаемую форму фюзеляжа, наличие шасси (аппарат Райтов вообще не имел шасси), наличие элеронов на крыльях (в аппарате Райтов вместо элеронов использовалось «гаширование» - примитивное управление с помощью тросов, изгибающих гибкую поверхность крыла) и тд. Но с точки зрения первого закона все части аппарата братьев Райт были минимально работоспособны (в составе системы) «двоек» не было.

В самолете Можайского неработоспособными (в составе системы) были две части: крылья и двигатель. Крылья представляли собой ровные плоскости, установленные с нулевым углом атаки (угол между крылом и направлением движения). Такие крылья не могли создавать подъемную силу. Неработоспособным (в составе системы «самолет») оказался и паровой двигатель, хотя сам по себе он был одним из наиболее совершенных паровых двигателей того времени. При образовании системы «самолет» проходные баллы получили профилированное крыло и двигатель внутреннего сгорания: именно эти части (в сочетании с воздушным винтом) дали систему, которую мы называем «самолет». Аппарат братьев Райт имел невысокие «оценки» по ряду показателей («гаширование» явно хуже элеронов и т.д.), но не имел «двоек»! Из первого закона следует очень важное для практики следствие: Чтобы система была управляемой, необходимо и достаточно, чтобы хотя бы одна ее часть была управляемой. «Быть управляемой» - значит менять свойства так, как это надо тому, кто управляет. Знание этого следствия из первого закона позволяет лучше понимать суть многих задач и правильнее оценивать полученные решения [127].

Второй закон - «энергетической проводимости» системы. Любая техническая система является преобразователем энергии. Отсюда очевидная необходимость передачи энергии от двигателя через трансмиссию к рабочему органу. Необходимым условием принципиальной жизнеспособности технической системы является сквозной проход энергии по всем частям системы. Передача энергии от одной части системы к другой может осуществляться через вещественные носители (например, вал, шестерня, рычаги и т.д.), используя полевой (например, магнитное поле) и вещественно-полевой принципы (например, передача энергии потоком заряженных частиц).

Многие технические задачи сводятся к подбору того или иного вида передачи энергии, наиболее эффективного в заданных условиях. Суть задачи - в создании «энергетического моста». Такого рода «мосты» могут быть однородными и неоднородными. Если вид энергии меняется при переходе от одной части технической системы к другой - это неоднородный «мост». В технических задачах чаще всего приходится иметь дело с неоднородными мостами (например, в компрессорах). Необходимо особое внимание уделять источникам и приемникам энергии и образуемым ими парам, особенно -

неоднородным парам, в которых происходит превращение энергии из одного вида в другой. При этом особое значение приобретают эффекты и явления, позволяющие управлять энергией на выходе из одной части технической системы или на входе в другую ее часть [127].

Важное значение имеет следствие из второго закона: чтобы часть технической системы была управляемой, необходимо обеспечить энергетическую проводимость между этой частью и органами управления.

Третий закон - согласования ритмики частей системы. Необходимым условием принципиальной жизнеспособности технической системы является согласование ритмики (частоты колебаний, периодичности) всех частей системы.

К «кинематике технической системы» относятся законы, определяющие развитие технической системы, независимо от конкретных технических и физических факторов, определяющих это развитие.

Закон увеличения степени идеальности системы. Развитие всех систем идёт в направлении повышения степени идеальности. Как известно, идеальная техническая система — это система, у которой масса, объём и площадь стремятся к нулю, но при этом все её функции сохраняются и полноценно выполняются. Иными словами, идеал достигается тогда, когда самой технической системы практически не существует, а требуемая работа по-прежнему выполняется в полном объеме.

Очевидно, что проектируемая система должна быть как можно ближе к илеальной. Несмотря на очевидность понятия «идеальная техническая система», существует определенный парадокс - многие реальные технической системы становятся все более крупноразмерными и тяжелыми. Так, увеличиваются размеры и масса самолетов, танкеров. автомобилей и т.д. Парадокс этот объясняется тем, что высвобожденные при совершенствовании технической системы резервы направляются на увеличение ее размеров и - главное - повышение рабочих параметров.

Так, каждое усовершенствование в автомобиле - использование более прочных материалов, повышение КПД двигателя и т.д. - все это направлялось на увеличение скорости автомобиля и того, что «обслуживает» эту скорость (мощная тормозная система, прочный кузов, усиленная амортизация и т.д.). Видимый вторичный процесс - рост скоростей, мощностей, тоннажа и т.д. - маскирует первичный процесс уменьшения степени идеальности технической системы.

Применительно к холодильной и криогенной технике каждое усовершенствование (например, компрессора, аппарата) - использование более прочных материалов, повышение КПД и т.д. - все это направлялось на увеличение производительности и снижение удельной массы агрегатов, т.е. способствовало увеличению степени идеальности технической системы. Таким образом, при решении технических задач необходимо ориентироваться именно

на увеличение степени идеальности - это надежный критерий при корректировке задачи, ее решении и оценке ответа.

Закон неравномерности развития частей системы. Развитие частей системы осуществляется неравномерно, приче чем сложнее система, тем не равномернее развитие ее частей. Неравномерность развития частей системы является причиной возникновения технических и физических противоречий и, следовательно, технических задач [126].

Рассмотрим действие этого закона на следующем примере. Первые поршневые компрессоры имели один-два цилиндра и имели привод от паровой машины, которая вращала коленчатый вал с небольшой частотой вращения (30-60 об/мин). По мере увеличения потребности в холоде численность цилиндров увеличивали и довели в вертикальных компрессорах до 8-12. Возникли противоречия - увеличение массы картера, необходимость передачи вращения через многоопорный составной коленчатый вал.

Стало очевидным необходимость изменения частоты вращения, что сразу сократило число цилиндров, массу компрессора, увеличило его компактность. Размещение цилиндров в У- или УУ-образном исполнении потребовало изменения конструкции корпуса и технологии его изготовления; переход на индивидуальный электропривод с повышенной частотой вращения вызвал необходимость в принципиально новых конструкциях уплотнений вала. Кроме того, изменялись условия эксплуатации поршневого компрессора (опасность «влажного хода» и др.).

Таким образом, возникали новые неравномерности в развитии технической системы (противоречия), требующие их разрешения. Неравномерность развития привела к возникновению технического противоречия: выигрыши в массе и компактности сопровождается проигрышем в удобстве эксплуатации системы. В реальных условиях части технической системы меняются короткими скачками. Противоречия нарастают постепенно, не так заметно. Картина осложняется еще и тем, что реальные технической системы включают много подсистем: противоречия назревают внутри подсистем и лишь затем прорываются, распространяясь на всю систему.

Закон перехода в надсистему. Исчерпав возможности развития, система может быть включена в надсистему, в качестве одной из частей; при этом дальнейшее развитие идет уже на уровне надсистемы [126].

«Динамика технических систем» включает законы, отражающие развитие современных технических систем под действием конкретных технических и физических факторов, учитывая главные тенденции развития технических систем именно в наше время [127].

Закон перехода в другую систему. Исчерпав возможности развития конкретной системы, в ряде случаев является целесообразным кардинально пересмотреть достигнутые результаты и перейти в новую систему. Так, например, поступили при замене горизонтальных поршневых компрессоров на винтовые и турбокомпрессоры, когда по условиям проектирования и

использования выяснилась полная непригодность горизонтальных поршневых компрессоров в крупнотоннажных химических и других производствах.

Аналогичная ситуация имела место при замене герметичных поршневых компрессоров на герметичные спиральные компрессоры в системах кондиционирования и в малых холодильных машинах.

Закон перехода с макроуровня на микроуровень. Развитие рабочих органов системы идет сначала на макроуровне, а затем - на микроуровне. В большинстве современных технических систем рабочими органами являются «железки», например, поршни, винты, колеса турбокомпрессоров и т.д. Развитие таких рабочих органов в пределах макроуровня обеспечивает получение более совершенных конструкций, но «железки» остаются «железками».

Переход с макроуровня на микроуровень - одна из главных (если не самая главная) тенденция развития современных технических систем. Поэтому при решении технических задач особое внимание следует обратить на рассмотрение приемов перехода «макро-микро» и физических эффектов, реализующих этот переход [127] (например, эффект Пельтье, пульсационное охлаждение, магнитоэлектрический и электродинамический эффекты охлаждения и др.).

Проверка спроектированной системы на соответствие законам развития технических систем позволяет разработчикам выявить наличие скрытых резервов разработке, возможных новых путей ее приложения и осуществить патентование новых идей, чем создается так называемый «задел» для дальнейшей работы. Лишь после проведения этого этапа готовая разработка сдается заказчику с выполнением всех оговоренных юридических и финансовых договоренностей.

Вопросы для самоконтроля по разделу 4

1. Что относят к основным принципам составления проектных документов?
2. Назовите особенности автоматизации оформления документации. Каковы ее достоинства?
3. Приведите примеры блок-схемы, структурной схемы, расчетной схемы.
4. Что такое эскиз? Чертеж?
5. Какую информацию содержит электронная документация?
6. Что предусматривают стандарты ЕСКД относительно электронной документации?
7. Выделите основную терминологию, связанную с понятием электронной документации.
8. Приведите классификацию электронных конструкторских документов.
9. В соответствии с каким нормативным документов оформляется конструкторская документация?
10. Какие документы относят к текстовой конструкторской документации? Какой нормативный документ регламентирует ее состав?

11. Какие документы входят в состав графической конструкторской документации?
12. Что представляет собой электронная модель детали и электронная модель сборочной единицы?
13. Что представляет собой габаритный чертеж и монтажный чертеж?
14. Назовите основные положения формирования научно-исследовательского отчета.
15. Расскажите о проверке соответствия спроектированной системы законам развития технических систем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Системный подход в современной науке : (К 100-летию Людвига фон Берталанфи) : сборник статей / ответственный редакторы: И. К. Лисеев, В. Н. Садовский. — Москва : Прогресс-Традиция, 2004. — 561 с., ил. ; 22 см. — ISBN 5-89826-146-X.
2. Крик, Э. Введение в инженерное дело / Э. Крик ; перевод с англ. Ю. Л. Голубева. — Москва : Энергия, 1970. — 176 с.
3. Engineer vs. Scientist: What's the Difference? Scientists and Engineers Share Their Personal Perspectives (Инженер против учёного: в чём разница? Ученые и инженеры делятся своими взглядами на проблему): сайт. 2019 4 нояб. URL: www.thoughtco.com/engineer-vs-scientist-whats-the-difference-606442 (дата обращения: 02.10.2025).
4. Горохов, В. Г. Основы философии техники и технических наук : учебник для студентов и аспирантов / В. Г. Горохов. — Москва : Гардарики, 2007. — 335 с., ил. ; 21 см. — (Учебник для студентов и аспирантов). — ISBN 978-5-8297-0307-3.
5. Dixon J. R. Design Engineering: Inventiveness, Analysis, and Decision Making. McGraw-Hill, 1966. 354 p.
6. Пронин В.А., Шляховецкий Д.В. Основные этапы проектирования технических систем. – СПб.: «Невская палитра», 2007. – 81 с
7. Супрун, Т. И. История развития инженерной деятельности / Т. И. Супрун, Н. А. Кузьминова // Студенческие научные исследования: актуальные вопросы, достижения, инновации. — 2022. — С. 210–213.
8. Хорошев А.Н. Основы системного проектирования технических объектов: Учеб. пособие. – Москва, 2011. – 119 с.
9. Решетов, Д. Н. Детали машин : учебник для машиностроительных и механических специальностей вузов / Д. Н. Решетов. — 4-е изд., перераб. и доп. — Москва : Машиностроение, 1989. — 496 с., ил. ; 24 см. — ISBN 5-217-00335-9.
10. Ромашкин, К. И. Инженерная деятельность в социокультурном контексте: социально-философский анализ : автореферат диссертации на соискание учёной степени кандидата философских наук : 09.00.11 / К. И. Ромашкин ; Тульский государственный педагогический университет им. Л. Н. Толстого. — Тула, 2004. — 16 с.
11. Шамшина, И. Г. Современные тенденции российского высшего инженерного образования / И. Г. Шамшина // Sciences of Europe. — 2020. — № 54-3 (54). — С. 47–50.
12. Катасонов, В. В. Проектирование как самостоятельная сфера культуры / В. В. Катасонов // Аналитика культурологии. — 2009. — № 13. — С. 130–139.
13. Pronin V.A., Kovanov A.V., Tsvetkov V.A., Mikhailova E.N. A Systematic Approach to Improve the Efficiency of a CO2 Booster Refrigerating Machine by

Optimising the Performance of the Scroll Compressor//Lecture Notes in Mechanical Engineering, 2023, pp. 174-184
14. Пронин В.А., Кованов А.В., Цветков В.А., Михайлова Е.Н., Белов П.А. К вопросу оптимизации рабочих характеристик спирального компрессора в составе бустерной холодильной машины на CO2 с целью повышения ее эффективности // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки - 2023. - Т. 50. - № 1. - С. 42-52
15. Nikitin A., Deymi-Dashtebayaz M., Baranov I.V., Sami S., Nikitina V., Abadi M.K., Rumiantceva O. Energy, exergy, economic and environmental (4E) analysis using a renewable multi-generation system in a near-zero energy building with hot water and hydrogen storage systems//Journal of Energy Storage, 2023, Vol. 62, pp. 106794
16. Norani M., Deymi-Dashtebayaz M., Nikitin A. 4E analysis of a new multi-generation geothermal system based on Allam cycle for providing energy demand of a sample residential building//Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 2024, Vol. 149, No. 17, pp. 9559–9574
17. Никитин А.А. Степень энерго- эколого- экономического совершенства систем жизнеобеспечения // Энергоэффективные инженерные системы. Материалы международных научно-технических конференций. «Современные методы и средства исследований теплофизических свойств веществ» (25-26 мая 2023 год). «Искусственный холод в XXI веке» (15-17 ноября 2023 год). Сборник научных трудов [тезисы и доклады] -2024. - С. 214-218
18. Цветков В. Я. Информационное взаимодействие в человеко-машинной системе // Образовательные ресурсы и технологии. – 2021. – №. 3 (36). – С. 88-96.
19. GEA Group: официальный сайт. – URL: https://www.gea.com/ru/ (дата обращения: 03.10.2025). - Режим доступа: свободный.
20. GEA OMNI CONTROL PANEL An advanced, digital solution for compressor control, refrigeration & heating system control, and retrofit upgrades for existing equipment: рекламный проспект GEA. – URL: https://www.gea.com/en/assets/296836/ (дата обращения: 03.10.2025). - Режим доступа: свободный.
21. GEA G-Plex. Vi control, condition monitoring, and more: рекламный проспект GEA. – URL: https://www.gea.com/en/assets/311794/ (дата обращения: 03.10.2025). - Режим доступа: свободный
22. ГОСТ Р 27.102-2021 Надежность в технике. Надежность объекта. Термины и определения
23. ГОСТ Р ИСО 26800-2013 Эргономика. Общие принципы и понятия
24. ГОСТ 12.1.050-86 Система стандартов безопасности труда. Методы измерения шума на рабочих местах
25. ГОСТ 15.012-84 Система разработки и постановки продукции на производство. Патентный формуляр

26. Тимофеев Г.А. Теория механизмов и машин: учебник и практикум для вузов. Москва: Издательство Юрайт, 2025. — 432 с.
27. ГОСТ Р 2.101-2023 Единая система конструкторской документации. Виды изделий
28. Салкуцан С. В. Лекция «Тема 3.1 Современные технологические тренды и предпосылки, ведущие к созданию Фабрик Будущего» [Видео]. Открытое образование Openedu.ru. 2020. URL: https://apps.openedu.ru/learning/course/coursev1:spbstu+FUTFACT+fall_2020/blockv1:spbstu+FUTFACT+fall_2020+type@sequential+block@ff6152b4c431458c8983ec5ce51f7d62/blockv1:spbstu+FUTFACT+fall_2020+type@vertical+block@890dbb24f9a24ba8b403dee574114f81 (дата обращения: 02.12.2025)
29. Koren Y. The global manufacturing revolution: product-process-business integration and reconfigurable systems. John Wiley & Sons, New Jersey, 2010. 416 p.
30. Koren Y. The local factory of the future for producing individualized products // The Bridge, 2021, Vol. 51, No. 1, pp. 20-26
31. Gu X., Koren Y. Smart Factories for Mass Individualization // Encyclopedia, 2024, Vol. 4, No. 1, pp. 415-429.
32. Российская Федерация. Законы. О защите прав потребителей : Закон РФ от 07.02.1992 №2300-I (ред. от 07.07.2025) // Собрание законодательства Российской Федерации. — 1992. — №6. — Ст. 410.
33. Чудаева А. А. Цифровая трансформация производственных предприятий в РФ // Проблемы совершенствования организации производства и управления промышленными предприятиями: Межвузовский сборник научных трудов. – 2021. – №. 1. – С. 247-253.
34. Российская Федерация. Законы. О техническом регулировании : Федеральный закон от 27.12.2002 №184-ФЗ (ред. от 25.12.2023) // Собрание законодательства Российской Федерации. — 2002. — №52. — Ст. 5149.
35. Российская Федерация. Законы. О стандартизации в Российской Федерации : Федеральный закон от 29.06.2015 №162-ФЗ (ред. от 30.12.2020) // Собрание законодательства Российской Федерации. — 2015. — №27. — Ст. 3953.
36. Голуб, О. В. Стандартизация, метрология и сертификация : учебное пособие / О. В. Голуб, И. В. Сурков, В. М. Позняковский. — Новосибирск : Сибирское университетское издательство, 2009. — 333, [1] с., ил., табл. — (Университетская серия). — ISBN 978-5-379-00688-4.
37. Метрология и техническое регулирование : учебное пособие / под редакцией К. К. Кима. — Москва : , 2006. — 256 с. — ISBN 5-89035-328-4. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система.
38. ГОСТ 2.124-2014 Единая система конструкторской документации. Порядок применения покупных изделий
39. ГОСТ 14.205-83 Технологичность конструкции изделий. Термины и определения.

40. ГОСТ Р 71362-2024 Система технологической подготовки производства. Организация работ по оценке технологичности конструкции изделия.
41. Phoneblocks. A global campaign to bring to life a modular phone to reduce e-waste at scale. – URL: https://www.onearmy.earth/project/phonebloks (дата обращения: 03.12.2025). - Режим доступа: свободный
42. Пронин В. А., Кованов А. В., Цветков В. А. Современное состояние и перспективы развития холодильного компрессоростроения. Часть 2. Технологии и наука // Вестник Международной академии холода. 2023. № 2. С. 14–25 DOI: 10.17586/1606-4313-2023-22-2-14-25
43. ГОСТ 26653–2015 Подготовка генеральных грузов к транспортированию. Общие требования
44. Морозова, Л. В. Фрактографический анализ эксплуатационных разрушений конических зубчатых колес центрального привода авиационных газотурбинных двигателей: специальность 05.16.01 «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов» диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Морозова Лариса Владимировна; Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов Государственный научный центр Российской Федерации. - Москва, 2016.- 145 с.
45. ГОСТ Р ИСО 13373-1-2009 «Контроль состояния и диагностики машин. Вибрационный контроль состояния машин. Часть 1. Общие методы»
46. ГОСТ Р ИСО 13373-1-2009 «Контроль состояния и диагностики машин. Вибрационный контроль состояния машин. Часть 2. Общие методы»
47. Межгосударственный стандарт ГОСТ 30434-96 «Оборудование для кондиционирования воздуха и вентиляции. Нормы и методы контроля виброустойчивости и вибропрочности»
48. B. S. M. ALI, “Development of Non-Destructive Small Specimen Creep Testing Techniques,” PhD Thesis, The University of Nottingham (2013).
49. ГОСТ Р ИСО 26800-2013 Эргономика. Общие принципы и понятия
50. ГОСТ Р ИСО 28803-2013 Эргономика физической среды. Применение требований стандартов к людям с особыми потребностями
51. ГОСТ Р ИСО 6385-2007 Эргономика. Применение эргономических принципов при проектировании производственных систем
52. ГОСТ Р ИСО 14915-1-2010 Эргономика мультимедийных пользовательских интерфейсов. Часть 1. Принципы проектирования и структура»
53. Цыганков А.В., Долговская О.В., Виноградский Д.В. Канальные системы вентиляции и кондиционирования – СПб: Университет ИТМО, 2022. – 68 с.
54. Резолюция, принятая Генеральной Ассамблеей 22 декабря 2015 года [по докладу Второго комитета (A/70/470/Add.1)] 70/186. Защита интересов потребителей
55. ГОСТ EN 13478-2012 Безопасность машин. Противопожарная защита

56. ГОСТ ЕН 1088-2002 Безопасность машин. Блокировочные устройства, связанные с защитными устройствами. Принципы конструирования и выбора
57. ГОСТ EN 1299-2016 Колебания и удары механические. Виброизоляция машин. Указания по изоляции источников колебаний
58. СП 60.13330.2020 Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха
59. СанПиН 2.2.4.548-96 санитарные правила и нормы «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений»
60. ГОСТ Р 59972-2021 Системы вентиляции и кондиционирования воздуха общественных зданий. Технические требования
61. Федеральный закон от 21 июля 1997 г. №116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов»
62. Приказ Ростехнадзора от 8 ноября 2018 г. №539 «Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности „Правила безопасности аммиачных холодильных установок и систем“»
63. ГОСТ 33662.4-2015 (ISO 5149-4:2014) Холодильные системы и тепловые насосы. Требования безопасности и охраны окружающей среды. Часть 4. Эксплуатация, техническое обслуживание, ремонт и восстановление
64. ГОСТ 34891.2-2022 Системы холодильные и тепловые насосы. Требования безопасности и охраны окружающей среды. Часть 2. Проектирование, конструкция, испытания, маркировка и документация
65. Приказ Министерства труда и социальной защиты РФ от 23 декабря 2014 г. №1104н Об утверждении Правил по охране труда при эксплуатации холодильных установок
66. ГОСТ EN 378-1-2014. Межгосударственный стандарт. Системы холодильные и тепловые насосы. Требования безопасности и охраны окружающей среды Часть 1. Основные требования, определения, классификация и критерии выбора
67. Стандарт ISO 13043 Дорожный транспорт — холодильные установки, используемые в мобильных системах кондиционирования воздуха — Требования безопасности
68. ГОСТ 32968-2014 — межгосударственный стандарт Оборудование холодильное. Агенты холодильные. Требования по применению и извлечению
69. СП 2.2.3670-20 Санитарно-эпидемиологические требования к условиям труда
70. Приказ Минтруда России от 23.12.2014 №1104н Об утверждении Правил по охране труда при эксплуатации холодильных установок
71. Монреальский протокол по веществам, разрушающим озоновый слой. Принят 16 сентября 1987 года [Электронный ресурс] // Официальный сайт ООН. Режим доступа: https://www.un.org/ru/documents/treaty/montreal_prot (дата обращения: 09.12.2025).

72. Письмо Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 19 декабря 2024 года №03-14-53/52184 «О реализации Кигалийской поправки к Монреальскому протоколу
73. ГОСТ Р 71076-2023 — национальный стандарт Российской Федерации «Оборудование криогенное. Системы транспортирования и хранения жидкого водорода. Общие требования к эксплуатации»
74. ГОСТ Р 72092-2025 — национальный стандарт Российской Федерации «Техника криогенная. Агрегаты турбодетандерные. Общие технические требования»
75. ГОСТ Р 70068-2022 — национальный стандарт Российской Федерации «Насосы и агрегаты насосные для перекачки криогенных продуктов. Дополнительные требования безопасности»
76. Приказ Ростехнадзора от 28 ноября 2016 г. N 500. Об утверждении федеральных норм и правил в области промышленной безопасности "Правила безопасности при производстве и потреблении продуктов разделения воздуха"
77. ГОСТ 34294-2017 — межгосударственный стандарт «Арматура трубопроводная криогенная. Общие технические условия»
78. ГОСТ Р 71145-2023 — национальный стандарт РФ «Сосуды криогенные стационарные. Общие технические условия»
79. ГОСТ Р 54906-2012 «Системы безопасности комплексные. Экологически ориентированное проектирование. Общие технические требования»
80. ГОСТ Р 57702-2017 «Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Требования к малоотходным технологиям».
81. Пронин В.А., Кованов А.В., Калашникова Е.А., Цветков В.А. Перспектива использования озонобезопасных хладагентов с низким потенциалом глобального потепления в спиральных компрессорах. Часть 1 // Омский научный вестник. Серия Авиационно-ракетное и энергетическое машиностроение -2021. - Т. 5. - № 4. - С. 9-16
82. Пронин В.А., Кованов А.В., Калашникова Е.А., Цветков В.А. Перспектива использования озонобезопасных хладагентов с низким потенциалом глобального потепления в спиральных компрессорах. Исследования и практика применения R744 и R290. Часть 2 // Омский научный вестник. Серия Авиационно-ракетное и энергетическое машиностроение -2022. - Т. 6. - № 1. - С. 14-21
83. ГОСТ 20.39.108-85 Комплексная система общих технических требований. Требования по эргономике, обитаемости и технической эстетике. Номенклатура и порядок выбора
84. ГОСТ 2.103-2013 Единая система конструкторской документации. Стадии разработки
85. ГОСТ 2.118-2013 Единая система конструкторской документации. Техническое предложение

86. ГОСТ 2.119-2013 Единая система конструкторской документации. Эскизный проект
87. ГОСТ 2.120-2013 Единая система конструкторской документации. Технический проект
88. Черепахин, А. А. Нормативное обеспечение процесса проектирования : монография / А. А. Черепахин. — Москва : Русайнс, 2016. — 158 с. — ISBN 978-5-4365-0785-9.
89. ГОСТ 2.102-2013 Единая система конструкторской документации. Виды и комплектность конструкторских документов
90. ГОСТ 2.701-2008 Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Схемы. Виды и типы. Общие требования к выполнению
91. ГОСТ 7.32-2017 Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Отчёт о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления
92. Метрология и техническое регулирование : учебное пособие / под редакцией К. К. Кима. — Москва : , 2006. — 256 с. — ISBN 5-89035-328-4. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система.
93. Карпова, С. В. Маркетинг: теория и практика : учебник для вузов / С. В. Карпова. — Москва : Издательство Юрайт, 2025. — 308 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-21581-6. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: https://urait.ru/bcode/581769
94. Купцова, Е. В. Бизнес-планирование : учебник и практикум для вузов / Е. В. Купцова ; ответственный редактор А. А. Степанов. — Москва : Издательство Юрайт, 2025. — 435 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-9916-8377-7. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: https://urait.ru/bcode/560505
95. Тебекин, А. В. Квалиметрия : учебник для вузов / А. В. Тебекин. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2025. — 102 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-21727-8. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. – URL: https://urait.ru/bcode/581985
96. Кондиционеры. Каталог-перечень оборудования (КПО-06.02.10-06) — М.: КЦЦС, 2006. 112 с.
97. ООО ВЕЗА: официальный сайт производителя вентиляционного оборудования. – URL: https://www.veza.ru/ (дата обращения: 10.12.2025). - Режим доступа: свободный
98. Гражданский кодекс Российской Федерации. Части первая, вторая, третья, четвёртая: офиц. текст: по состоянию на 2 сен. 2025 г. — М.: Эксмо, 2025. — 674 с.
99. Николаев А.С. Патентная аналитика: учебно-методическое пособие / А.С. Николаев – СПб: Университет ИТМО, 2022. – 98 с.

100. ГОСТ Р 15.011-2024 Интеллектуальная собственность. Патентные исследования. Содержание и порядок проведения
101. Официальный Интернет-сайт Федерального государственного бюджетного учреждения «Федеральный институт промышленной собственности». – URL: https://www1.fips.ru/ (дата обращения: 10.12.2025). - Режим доступа: свободный
102. Поисковая платформа Роспатента». – URL: https://searchplatform.rospatent.gov.ru/patents (дата обращения: 10.12.2025). - Режим доступа: свободный
103. «Яндекс.Патенты», сервис поиска по патентам. – URL: http://yandex.ru/patents (дата обращения: 10.12.2025). - Режим доступа: свободный
104. Google Patents — поисковая система патентов от Google – URL: https://patents.google.com/ (дата обращения: 10.12.2025). - Режим доступа: свободный
105. Котенева О.Е., Николаев А.С. Патентоведение.: учебно-методическое пособие / О.Е. Котенева, А.С. Николаев. – СПб.: Университет ИТМО, 2020 – 119 с.
106. Альтшуллер Г. С. Найти идею: Введение в ТРИЗ — теорию решения изобретательских задач. 4-е изд. — М.: Альпина Паблишер, 2011
107. Альтшуллер Г. С. Алгоритм изобретения. — М.: Московский рабочий. — 1969 (1-е изд.); 1973 (2-е изд.).
108. Прикладная механика : учебное пособие для студентов высших учебных заведений / В. М. Кушнаренко, А. М. Ефанов, В. П. Ковалевский, Ю. А. Чирков. — 2-е изд., испр. и доп. — Оренбург : ИПК ГОУ ОГУ, 2009. — 338 с., ил.
109. Бурганов, Р. А. Функционально-стоимостный анализ (краткий курс лекций) : учебное пособие / Р. А. Бурганов. — Казань : Казанский государственный энергетический университет, 2015. — 82 с.
110. Петров Е.Т., Круглов А.А. Компьютерное проектирование низкотемпературных систем. – СПб: Университет ИТМО, 2021. – 122 с.
111. Мир климата холода. Руководство Danfoss «Автоматизация коммерческих холодильных установок» – URL: https://mir-klimata.info/wp-content/uploads/2024/04/Avtomatizaciya-kommercheskih-holodilnyh-ustanovok-Danfoss.pdf (дата обращения: 12.12.2025). - Режим доступа: свободный
112. Пронин В.А., Глухих В.Н., Прилуцкий А.А. Элементы систем жизнеобеспечения. Проектирование и монтаж: Учеб.пособие. – СПб.: Университет ИТМО, 2016. – 104 с.
113. ГОСТ 2.770-68 Единая система конструкторской документации. Обозначения условные графические в схемах. Элементы кинематики
114. ГОСТ 2.051–2023 Единая система конструкторской документации. Электронная конструкторская документация. Основные положения»

115.ГОСТ Р 2.104-2023 Единая система конструкторской документации. Основные надписи»
116.ГОСТ Р 2.106-2019 Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Текстовые документы
117.ГОСТ 2.114-2016 Единая система конструкторской документации. Технические условия
118.ГОСТ 19.301-79 Единая система программной документации. Программа и методика испытаний. Требования к содержанию и оформлению
119.ГОСТ 15.012-84 Система разработки и постановки продукции на производство. Патентный формуляр
120.ГОСТ 2.116-84 Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Карта технического уровня и качества продукции
121.ГОСТ 2.056-2021 Единая система конструкторской документации. Общие положения
122.ГОСТ Р 2.056-2024 Единая система конструкторской документации. Электронная модель детали. Общие требования
123.ГОСТ Р 2.057-2024 Единая система конструкторской документации. Электронная модель сборочной единицы. Общие требования
124.ГОСТ 7.32-2017 Отчёт о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления
125.Альтшуллер, Г. С. Основы изобретательства / Г. С. Альтшуллер. — Воронеж : Центрально-Чернозёмное книжное издательство, 2009. — 240 с.
126.Петров В. М. Законы развития систем. ТРИЗ. Изд. 2-е, испр. и дополненное / Владимир Петров. — [б. м.]: Издательские решения, 2019. — 926 с. — ISBN 978-5-4490-9985-3.
127.Альтшуллер, Г. С. Крылья для Икара: Как решать изобретательские задачи / Г. С. Альтшуллер, А. Б. Селюцкий. — Петрозаводск : Карелия, 1980. — 224 с.

Пронин Владимир Александрович
Шляховецкий Давид Валентинович
Цветков Вадим Александрович
Колодийчук Павел Андреевич

Основные этапы проектирования технических систем

Учебно-методическое пособие

В авторской редакции
Редакционно-издательский отдел Университета ИТМО
Зав. РИО Н.Ф. Гусарова
Подписано к печати
Заказ №
Тираж
Отпечатано на ризографе

Редакционно-издательский отдел
Университета ИТМО
197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., 49, литер А