



# 1 ИНФОРМАЦИОННЫЙ БЛОК<sup>1</sup>

План управляемой самостоятельной работы студентов.

Темы УСР	Количество часов	Форма контроля
Основы проектирования машин. Автоматизированное проектирование.	4	Тестирование
Итого	4	

## Информационно-методическая часть

*Цель УСР:*

- овладение учебным материалом дисциплины в объеме, требуемом учебной программой;
- формирование навыков самообразования в учебной, научной, производственной и управленческой деятельности;
- развитие учебных способностей, умений, навыков и принятия самостоятельных решений в профессиональной деятельности.

### Методические указания:

1. Изучить предлагаемые вопросы по литературным источникам и лекции;

### Тема 1.7

#### Основы проектирования машин. Автоматизированное проектирование

##### 1. Проектировочный и проверочный расчеты

**Проектировочным расчетом** называют определение основных размеров детали при выбранном материале и по формулам, соответствующим главному критерию работоспособности (прочности, жесткости, износостойкости и др.). *Этот расчет применяют в тех случаях, когда размеры конструкции заранее не известны.* Проектировочные расчеты являются упрощенными, их выполняют как предварительные.

**Проверочным расчетом** называют определение фактических характеристик главного критерия работоспособности детали или определение наибольшей допустимой нагрузки на деталь по допускаемым значениям главного критерия работоспособности. При проверочном расчете определяют фактические (расчетные) напряжения и коэффициенты запаса прочности, действительные прогибы и углы наклона сечений, температуру, ресурс при заданной нагрузке или допустимую нагрузку при заданных размерах и т.д.

Проверочный расчет является *уточненным*, его проводят, *когда форма и размеры детали известны из проектировочного расчета или приняты конструктивно, когда определена технология изготовления* (способ получения заготовки, вид термообработки, качество поверхности и др.).

Расчеты и конструирование органически связаны. **Конструированием** называют творческий процесс создания механизма или машины в чертежах на основе проектировочных и проверочных расчетов. При разработке конструкции машины рассматривают различные варианты с целью получения оптимальной конструкции при наименьшей стоимости ее изготовления и эксплуатации. Конструирование подразумевает проведение всестороннего анализа статистического материала, отражающего опыт проектирования, изготовления и эксплуатации машин данного типа. Задачи оптимизации выполняют с применением ЭВМ.

## 2. Комплексная модель качества

*Понятие качества содержит совокупность свойств, обуславливающих пригодность изделия удовлетворять определенные потребности в соответствии с его назначением.* Для оценки качества машин нужна четкая система показателей и методов их определения. Разработкой методов **количественной оценки качества** занимается наука, получившая название **квалиметрии** (от латинского *qualis* – качество, *metris* – мерить).

В квалиметрии качество рассматривают как *иерархическую совокупность свойств* (иерархия - порядок подчинения) и представляют в виде структурной схемы, состоящей из нескольких уровней. Разделение на *иерархические уровни* проводят по степени подробности отражения отдельных свойств, раскрывая внутреннее взаимодействие свойств изделия.

Построение схемы ведут в соответствии с принципами квалиметрии, а формирование содержания уровней – с **позиций системного подхода**. Согласно этим принципам на самом низком, нулевом уровне располагают самое общее комплексное свойство – качество в целом, а составляющие его менее обобщенные свойства - на более высоком 1-м уровне; составляющие свойств 1-го уровня – на 2-м и т.д. Так, снизу вверх создают иерархическое **дерево свойств**, располагая на каждом более высоком уровне менее обобщенные свойства. При построении иерархической структуры свойств необходимо подняться до такого высокого уровня, на котором находятся свойства, неразлагаемые на другие и называемые поэтому **простыми**.

*Построенную таким образом иерархическую структурную схему свойств называют комплексной моделью качества.*

**Системность качества** раскрывают в единстве рассмотрения внешних и внутренних свойств изделия. *Внешние свойства* проявляются в коммуникабельности, т.е. системе отношений и связей между взаимодействующими с изделием объектами окружающей (внешней) среды. Внутренние свойства, обуславливающие качест-

во, определяет структура самого изделия, и проявляются они во взаимодействии составляющих его частей (элементов).

На основе комплексной модели качества составляют *комплекс критериев*, т.е. тех свойств, с точки зрения которых проводят оценку качества возможных вариантов, и выбирают оптимальный.

Система показателей качества продукции (СПКП) нашла отражение в комплексе государственных стандартов серии 4.000.

*Заданием на курсовой проект по деталям машин является разработка привода в соответствии с определенной кинематической схемой.*

Рассмотрим, например, комплексную модель качества механического привода ленточного конвейера. Поскольку привод является элементом системы - ленточного

конвейера, то выделим из всей совокупности свойств системы те, которые определяет именно привод.

На нижнем, нулевом уровне (рис. 1) расположено самое **общее комплексное свойство** – качество привода в целом.

На первом уровне – **главные совокупности свойств качества**:

1 - совокупность показателей функционального совершенства;

2 - совокупность показателей технического совершенства;

3 - совокупность показателей технической коммуникабельности (взаимоотношений с объектами окружающей среды).

На втором уровне расположены **составляющие главных совокупностей** (свойства или группы свойств): **первой** главной совокупности:

1.1 - значение скорости перемещения ленты конвейера;

1.2 - закон изменения скорости;

1.3 - кинематическая погрешность привода;

**второй:**

2.1 - технико-эксплуатационные;

2.2 - надежности;

2.3 - стандартизации и унификации;

2.4 - технологичности конструкции;

2.5 - эргономические (эргономика - область науки, занимающаяся оптимизацией взаимодействия человека с машиной и рабочей средой в трудовом процессе);

2.6 - экономические;

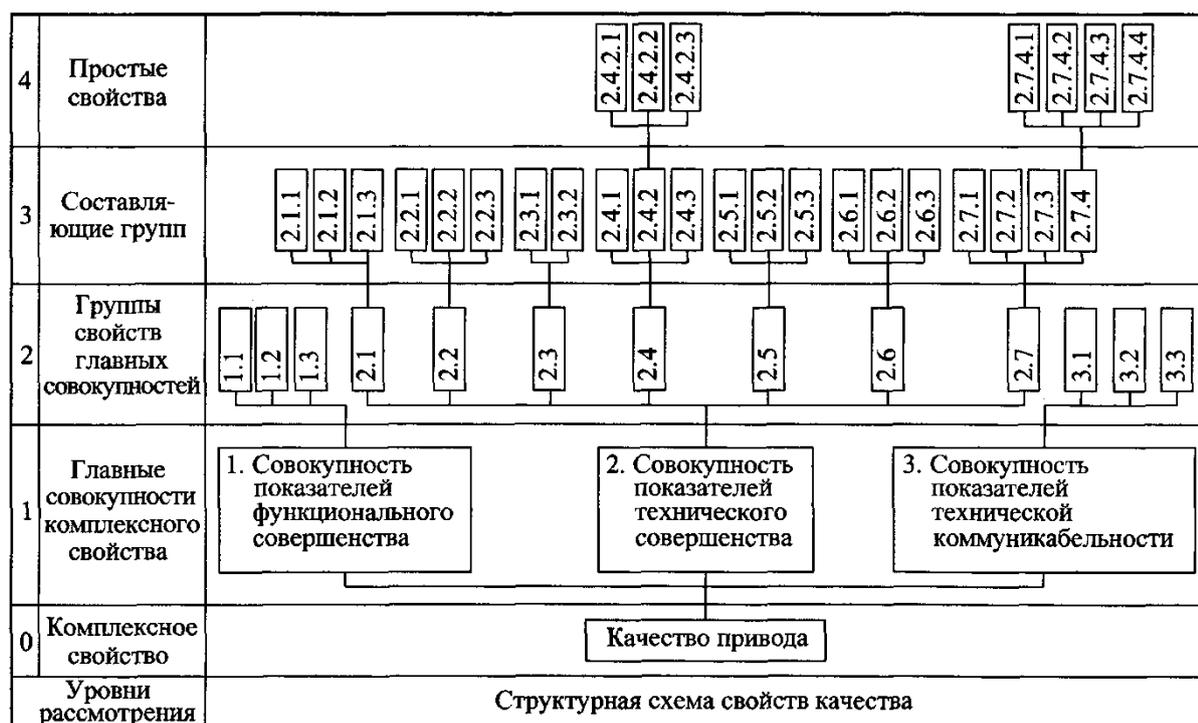
2.7 - эстетические;

**третьей:**

3.1 - геометрическая коммуникабельность;

3.2 - кинематическая коммуникабельность;

3.3 - динамическая коммуникабельность.



На **третьем уровне** представлены **составляющие групп свойств**:

- **технико-эксплуатационных**:

потребляемая электроэнергия (2.1.1),  
габариты (2.1.2),  
масса (2.1.3);

- *надежности*, в соответствии с ее компонентами:

по безотказности - вероятность безотказной работы (2.2.1),

по долговечности - ресурс (2.2.2),

по ремонтпригодности - вероятность восстановления (2.2.3);

- *стандартизации и унификации*:

коэффициент применяемости по типоразмерам деталей (2.3.1),

коэффициент повторяемости (2.3.2);

- *технологичности*:

трудоемкость изготовления (2.4.1),

материалоемкость (2.4.2), энергоемкость (2.4.3);

- *эргономических*:

уровень шума (2.5.1),

уровень вибрации (2.5.2),

удобство обслуживания (2.5.3);

- *экономических*:

коэффициент полезного действия (2.6.1),

удельный расход энергии (2.6.2),

цена изделия, отнесенная к мощности (2.6.3);

- *эстетичности*:

рациональность формы (2.7.1),

цельность композиции (2.7.2),

соответствие современным тенденциям художественного конструирования (2.7.3),

товарный вид (2.7.4).

*На четвертом уровне расположены простые свойства.*

*Составляющие материалоемкости:*

масса изделия, отнесенная к главному параметру - мощности (2.4.2.1),

коэффициент использования материала (2.4.2.2), оценивающий отходы и потери материала в производстве,

масса металла в изделии (2.4.2.3).

*Составляющие товарного вида:*

цвет (2.7.4.1),

отделка (2.7.4.2),

упаковка (2.7.4.3),

удобство транспортирования и хранения (2.7.4.4).

*Под показателями отдельных свойств изделия понимают соответствие показателям качества, зафиксированным в чертежах, стандартах и в других нормативных документах, а также показатели, полученные расчетным путем по основным критериям работоспособности или методами экспертных оценок (оценок экспертов - квалифицированных специалистов, имеющих хорошую интуицию и большой опыт работы в данной области).*

Количественной оценкой каждого из свойств комплексной модели служит отношение его показателя к эталонному значению этого показателя.

Представление свойств в виде безразмерных показателей делает их сопоставимыми и дает возможность объединить оценки отдельных свойств в одну комплексную оценку.

*При сравнении различных вариантов привода лучшим признают вариант с наибольшей комплексной оценкой.*

Определение комплексной оценки является сложной задачей, решение которой в полном объеме возможно в рамках САПР. Для практического применения при курсовом проектировании по деталям машин можно использовать упрощенную комплексную модель качества, составленную из следующих критериев: КПД привода, материалоемкость (масса), габариты, соразмерность составных частей, удобство обслуживания.

### 3. Комплексное и системное проектирование

Современная проектно-конструкторская деятельность подразумевает системный образ мышления и комплексный подход к проектированию машин.

Проектирование – один из этапов так называемого жизненного цикла изделия, в который входят также этапы производства, эксплуатации и утилизации.

*Проектирование представляет собой процесс решения многовариантной и в соответствии с многочисленными и разнообразными требованиями, которым каждый из возможных вариантов должен отвечать, еще и многокритериальной задачи.*

Изделие машиностроения – не простая совокупность деталей. В собранном изделии детали находятся во взаимосвязи и взаимозависимости, которые и определяют качественные характеристики изделия. Образно говоря, *не машина состоит из деталей, а детали образуют машину*, являясь элементами системы и требуя системного подхода при расчете и разработке. Таким образом, проектирование должно быть системным.

**Системное проектирование** – это решение технической задачи для части с позиций целого.

Объединенные в производственном процессе отдельные единицы оборудования оказывают как непосредственное, так и косвенное влияние на работу друг друга и представляют собой технологические системы производств. Например, гибкие производственные системы (комплексы механообработки).

**Комплексное проектирование** – это процесс разработки оборудования с позиций технологической системы.

*Основные этапы комплексного проектирования:*

**Формулировка задачи** на разработку изделия и обоснование его актуальности, исходя из той системы, элементом которой будет разрабатываемое изделие. Определение места изделия в технической системе. Задачу формулируют в общем виде, без излишней детализации. Нужно стараться сделать формулировку настолько общей, насколько позволяет важность задачи.

**Анализ задачи:** уточнение в деталях поставленной задачи, определение критериев, которыми будут пользоваться при нахождении лучшего варианта, определение ограничений решения, разработка комплексной модели качества и составление на ее основе комплекса критериев. Устанавливают качественные и количественные характеристики начального и конечного состояний, в том числе вариации входа и выхода.

**Ограничения** обычно отражают существующие условия физической или технологической реализуемости того или иного параметра путем назначения его минимально и максимально допустимых значений. Например, ограничения по габаритам, массе, быстроходности или ограничения по критериям работоспособности и надежности. Часто используют понятие *конструктивные ограничения*.

Ограничения решения сводят в систему неравенств и равенств и вводят в математическую модель. *Математическая модель – совокупность формул, уравнений, соотношений, алгоритмов или программ, отражающая свойства моделируемого объекта или имитирующая реальный процесс.*

**Поиск возможных решений.** Центральный этап проектирования. Для решения задач курса "Детали машин" наиболее часто используют структурное или параметрическое моделирование.

При **структурном моделировании** варианты приводов получают как возможные комбинации различных типов редукторов, муфт, открытых передач.

При **параметрическом моделировании** разные варианты заданной структуры привода получают путем применения разных материалов или видов термообработки, различного распределения передаточных чисел между отдельными передачами, применения различных исполнений той или иной передачи (для ременной, например, с плоским, клиновым, поликлиновым или зубчатым ремнем).

**Выбор оптимального варианта** по результатам сравнительного анализа возможных решений. Это главный среди этапов, предшествующих конструированию - этап принятия решения.

Разрабатываемое изделие характеризуют определенными свойствами. *Свойства, по которым ведут оценку* при выборе лучшего решения, называют критериями. В соответствии с комплексной моделью качества формируют комплекс критериев.

*Система ограничений и комплекс критериев делают поиск возможных вариантов направленным и позволяют выделить область возможных решений.*

Варианты решений в этой области соответствуют всем критериям комплекса, но, конечно, не в одинаковой степени. *Выделить вариант, лучшим образом соответствующий комплексу критериев, - так словесно определяют задачу выбора оптимального варианта.*

Отдельные критерии комплекса различаются как по своему содержанию, физическому смыслу, размерности, так и по значимости для самого изделия, по вкладу в комплекс критериев оценки качества.

*Относительную важность критериев, как доленое участие в комплексе, количественно оценивают коэффициентами, получившими название **весовых**.* Каждому такому коэффициенту присваивают определенную долю от единицы, а сумма всех коэффициентов равна единице.

В то же время сравниваемые варианты изделия соответствуют этим неравнозначным критериям также в разной степени. Характеристикой степени соответствия является **оценка**, т.е. отношение показателя свойства к эталонной величине этого показателя.

*Произведение весового коэффициента на оценку представляет собой степень соответствия рассматриваемого варианта изделия критерию комплекса с учетом относительной важности этого критерия.*

Из таких произведений формируют **обобщенные оценки качества**.

Однако практически невозможно получить такое решение, которое превосходило бы все остальные по всему комплексу критериев. Поэтому *в теории оптимизации под оптимальным понимают такой вариант, у которого невозможно улучшить ни один из критериев качества без ухудшения других* (оптимизация по Парето). Отыскание оптимального варианта сводится к нахождению экстремальных значений обобщенных оценок.

Решение задачи выбора оптимального варианта в полном объеме возможно в рамках САПР. При курсовом проектировании по деталям машин оптимальный вариант выбирают в соответствии с *упрощенной комплексной моделью качества*.

Оптимизация может быть и **однокритериальной**, т.е. проводимой по одному доминирующему критерию. Масса, например, является простым и эффективным критерием, так как стоимость материала составляет значительную часть стоимости машины, с массой тесно связаны габариты и трудоемкость изготовления. Критерий массы имеет особое значение для транспортных машин, летательных аппаратов.

При однокритериальной оптимизации *критерии* комплексной модели качества, кроме доминирующего, *учитывают в виде ограничений* и назначают границы их применения. Значения малозначащих параметров берут средними или варьируют двумя группами параметров. При этом можно поочередно исследовать влияние одних параметров, оставляя другие постоянными.

Завершают комплексное проектирование **конструктивной разработкой** оптимального варианта и последующим **уточнением принятого решения** на основе экспериментальных исследований или опытной эксплуатации.

### Список рекомендуемых источников.

1. Детали машин. Учебник для вузов / Л. А. Андриенко, Б. А. Байков, И. К. Ганулич [и др.] ; под ред. О. А. Ряховского. — М : МВТУ им. Баумана, 2007. — 520 с.
2. *Заблонский, К. И.* Детали машин / К. И. Заблонский. — Киев : Вища школа, 1985. — 518 с.
3. *Иванов, М. Н.* Детали машин / М. Н. Иванов, В. А. Финогенов. — М : Высшая школа, 2008. — 408 с.
4. *Иосилевич, Г. Б.* Детали машин. Учебник / Г. Б. Иосилевич. — М : Машиностроение, 2002. — 400 с.
5. *Кудрявцев, В. Н.* Детали машин: Учебник / В. Н. Кудрявцев. — Л : Машиностроение, 1980. — 464 с.
6. *Решетов, Д. Н.* Детали машин. Учебник / Д. Н. Решетов. — М : Машиностроение, 1989. — 496 с.
7. *Скойбеда, А. Т.* Детали машин и основы конструирования / А. Т. Скойбеда, А. В. Кузьмин, Н. Н. Макейчик ; под ред. А. Т. Скойбеда — Мн : Вышэйшая школа, 2006. — 560 с.: ил.
8. *Скойбеда, А. Т.* Детали машин. Теория и расчет. Учебное пособие / А. Т. Скойбеда, В. А. Агейчик, И. Н. Кононович. — Мн : БГАТУ, 2014. — 372 с.