

Министерство образования и науки РФ

ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ  
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

УТВЕРЖДАЮ  
Зав. кафедрой КИПР

\_\_\_\_\_ Д.В.Озеркин

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2015 г.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ  
ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ

по дисциплине:

**Проектирование сложных систем**

для магистров

направления подготовки:

11.04.03 – Конструирование и технология  
электронных средств

Составитель:

Заведующий кафедрой КИПР

Д.В.Озёркин

2015

## 1 ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ (16 ч)

### Занятие №1. Преобразование формы

*Пример.* Двухэтажная лесопильная рама имеет мощность механизма резания более 100 кВт. При распиловке тонкомерных бревен ( $d = 18 \dots 24$  см) механизм резания оказывается незагружен по мощности, однако увеличить производительность распиловки нельзя, так как с увеличением посылки выше конструктивной резко увеличивается шероховатость распиленных поверхностей. Как быть? Решение. Из фонда эвристических приемов интуитивно выбираем полезные для решения задачи приемы (см. приложение 1, п. п. 3.1, 8.3): – изменить традиционную ориентацию объекта в пространстве: горизонтальное положение на вертикальное или наклонное; – изменить габаритные размеры, объем или длину объекта при переводе его в рабочее или нерабочее состояние. При распиловке толстых бревен лесопильная рама загружена по мощности, а при распиловке тонких – не загружена. Почему? Потому, что мала высота пропила и мало пил установлено в поставе. Надо как-то увеличить высоту пропила. Обе подсказки приемов говорят, что и как надо сделать. Надо увеличить высоту пропила (длину) путем подачи бревна не горизонтально, а наклонно. Высота пропила увеличивается в этом случае до  $d/\cos\varphi$ , где  $\varphi$  – угол наклона бревна. Такое решение защищено а.с. 506498.

#### *Варианты заданий:*

- 1.1. Использовать круговую, спиральную, древовидную, сферическую или другую компактную форму.
- 1.2. Сделать в объекте (элементе) отверстия или полости. Инверсия приема.
- 1.3. Проверить соответствие формы объекта законам симметрии. Перейти от симметричной формы и структуры к асимметричной. Инверсия приема.
- 1.4. Перейти от прямолинейных частей, плоских поверхностей, кубических и многогранных форм (особенно в местах сопряжений) к криволинейным, сферическим и обтекаемым формам. Инверсия приема.
- 1.5. Объекту (элементу), работающему под нагрузкой, придать выпуклую (более выпуклую) форму.
- 1.6. Компенсировать нежелательную форму сложением с обратной по очертанию формой.
- 1.7. Выполнить объект в форме:
  - другого технического объекта, имеющего аналогичное название или назначение;
  - животного, растения или их органа;
  - человека или его органов.

1.8. Сделать объект (элемент) приспособленным к форме человека или его органов.

1.9. Использовать в аналогичных условиях работы природный принцип формирования в живой или неживой природе.

1.10. Сделать рациональный (оптимальный) раскрой листового или объемного материала; внести изменения в форму деталей для более полного использования материала.

1.11. Выбрать конструкцию деталей, в наибольшей мере приближающуюся по форме и размерам выпускаемого проката в других профильных заготовок.

1.12. Найти глобально-оптимальную форму.

1.13. Найти наибольшую цельную форму объекта (зрительное выделение главного функционального элемента, устранение или прикрытие многих ненужных деталей и т. д.).

1.14. Использовать различные виды симметрии и асимметрии, динамические и статические свойства формы, ритма (чередования одинаковых или схожих элементов), нюансов и контраста.

1.15. Осуществить гармоническую увязку форм различных элементов (выбор масштабов и соотношений между объектами и окружающей предметной средой, использование эстетически предпочтительных пропорций).

1.16. Выбрать (придумать) наиболее красивую форму объекта и его элементов.

## **Занятие №2. Преобразование структуры**

*Пример.* Для гнутья деревянных заготовок последние пропаривают, жестко крепят к стальной ленте (шине) и вместе с лентой гнут вокруг шаблона. При изгибе лента сжимает наружные растянутые волокна древесины и предотвращает их разрыв. При организации гнутья на карусельном автомате применение стальной ленты усложняет конструкцию (ее крепление к детали) и сдерживает рост производительности труда. Как быть? Решение. Подбираем приемы (см. приложение 3, п. п. 1.5, 6.17): – элементу, работающему под нагрузкой, придать выпуклую форму; – вместо твердых частей использовать жидкие или газообразные (надувные, воздушные подушки). Подсказки приемов говорят, что и как надо сделать. Если шину (стальную ленту) выполнить в виде воздушной подушки, то при гнутье вместе с пластифицированной деревянной деталью подушка будет сжимать наружные волокна детали. Конструкция устройства защищена а.с. 1706860.

### *Варианты заданий:*

2.1. Исключить наиболее напряженный (нагруженный) элемент.

2.2. Исключить элемент при сохранении объектом всех прежних функций. Один элемент выполняет несколько функций, благодаря чему отпадает необходимость в других элементах. Убрать «лишние детали» даже при потере «одного процента эффекта».

2.3. Присоединить к объекту новый элемент в виде жестко или шарнирно соединенной пластины (стержня, оболочки или трубы), находящейся в рабочей среде или в контакте с ней.

2.4. Присоединить к базовому объекту дополнительное специализированное орудие труда, инструмент и т.п.

2.5. Заменить связи (способ или средства соединения) между элементами; жесткую связь сделать гибкой или наоборот.

2.6. Заменить источник энергии, тип привода, цвет и т. д.

2.7. Заменить механическую схему электрической, тепловой, оптической или электронной.

2.8. Существенно изменить компоновку элементов; уменьшить компоновочные затраты.

2.9. Сосредоточить органы управления и контроля в одном месте.

2.10. Объединить элементы единым корпусом, станиной или изготовить объект цельным.

2.11. Ввести единый привод, единую систему управления или энергообеспечения.

2.12. Соединить однородные или предназначенные для смежных операций объекты.

2.13. Объединить в одно целое объекты, имеющие самостоятельное назначение, которое сохраняется после объединения в новом комплексе.

2.14. Использовать принцип агрегатирования. Создать базовую конструкцию (единую раму, станину), на которую можно «навесить» различные (в различных комбинациях) рабочие органы, агрегаты, инструменты.

2.15. Совместить или объединить явно или традиционно несовместимые объекты, устранив возникающие противоречия.

2.16. Выбрать материал, обеспечивающий минимальную трудоемкость изготовления деталей и обработки заготовок.

2.17. Использовать раздвижные раскладные сборные надувные и другие конструкции, обеспечивающие значительное уменьшение габаритных размеров при переводе ТО из рабочего состояния в нерабочее.

2.18. Найти глобально-оптимальную структуру.

2.19. Выбрать (придумать) наиболее красивую структуру.

### **Занятие №3. Преобразования в пространстве**

*Пример.* Сборная фрезерная ножевая головка включает корпус с посадочным отверстием и пазами, в которых размещаются 3 ножи, клинья и винты. У такой фрезы трудно выставить режущие кромки ножей по одному радиусу. Как быть? Решение. Подбираем приемы (см. приложение 3, п.п. 2.3, 3.10, 5.10, 10.1): – присоединить к объекту новый элемент в виде жестко или шарнирно соединенной пластины, трубы, находящейся в рабочей среде; – заранее расставить элементы так, чтобы они могли вступить в действие с наиболее удобного места; – перейти от неподвижного физического поля к движущемуся; – использовать массу объекта (элемента). Используя подо-

бренные приемы и приложив некоторое воображение, можно вылепить фрезу следующим образом. Попробуем к корпусу фрезы по его торцам заранее жестко присоединить кольца с внутренним диаметром, равным заданному. Что дает масса ножа при вращении? Центробежную силу, направленную по радиусу от оси вращения. Это подвижное физическое поле, которое может прижать ножи их лезвиями к внутренней поверхности колец, закрепленных на торцах корпуса. Когда фреза вращается, ее ножи прижимаются к кольцам, и лезвия их описывают в пространстве одну поверхность. Вот так, у каждого изобретателя по-разному и никто толком не знает как, рождается новая конструкция. Указанная фреза защищена а.с. 420452.

Варианты заданий:

- 3.1. Изменить традиционную ориентацию объекта в пространстве:
  - горизонтальное положение на вертикальное или наклонное;
  - положить на бок;
  - повернуть низом вверх;
  - повернуть путем вращения.
- 3.2. Использовать «пустое пространство» между элементами объекта. Один элемент проходит сквозь полость в другом элементе.
- 3.3. Объединить известные порознь объекты (элементы) в размещением одного внутри другого по принципу «матрешки».
- 3.4. Размещение по одной линии заменить размещением по нескольким линиям или по плоскостям. Инверсия приема.
- 3.5. Заменить размещение по плоскости размещением по нескольким плоскостям или в трехмерном пространстве; перейти от одноэтажной (однослойной) компоновки к многоэтажной (многослойной). Инверсия приема.
- 3.6. Изменить направление действия рабочей силы или среды.
- 3.7. Перейти от контакта в точке к контакту по линии; от контакте по линии к контакту по поверхности; от контакта по поверхности к объемному (пространственному). Инверсия приема.
- 3.8. Осуществить сопряжение по нескольким поверхностям.
- 3.9. Приблизить рабочие органы объекта к месту выполнения ими своих функций без передвижения самого объекта.
- 3.10. Заранее расставить объекты так, чтобы они могли вступить в действие с наиболее удобного места и без затрат времени на их доставку.
- 3.11. Перейти от последовательного соединения элементов к параллельному или смешанному. Инверсия приема.
- 3.12. Разделить объект на части так, чтобы приблизить каждую из них к тому месту, где она работает.
- 3.13. Разделить объект на две части — «объемную» и «необъемную»; вынести «объемную» часть за пределы, ограничивающие объем.
- 3.14. Вынести элементы, подверженные действию вредных факторов, за пределы их действия.
- 3.15. Перенести (поместить) объект или его элемент в другую среду, исключаящую действие вредных факторов.

3.16. Выйти за традиционные пространственные ограничения или габаритные размеры.

#### **Занятие №4. Преобразования во времени**

*Пример.* Современные мобильные телефоны характеризуются малыми массогабаритными показателями. Указанное потребительское свойство повышает удобство обращения с телефоном, появляется возможность ношения аппарата в одежде, на ремне, в дамской сумочке и т.д. Применение интегральной элементной базы теоретически позволяет уменьшить размеры и массу мобильного телефона еще как минимум в два раза. Однако дальнейшее уменьшение размеров отрицательно сказывается на эргономических показателях аппарата. В частности, становится проблематично разместить на ограниченной площади органы управления и индикации, нажатие мелких кнопок сопряжено с определенной трудностью.

Необходимо разработать конструктивный вариант мобильного телефона с малыми массогабаритными показателями при сохранении удобства нажатия кнопок, которое присуще более крупным аппаратам.

*Решение.* Сделать конструкцию мобильного телефона складной. В нерабочем положении аппарат находится в складном состоянии и занимает, соответственно, в два раза меньше места по высоте. В рабочем положении аппарат раскладывается на две половины, одна из которых представляет собой кнопочную группу и микрофон, а другая – дисплей и капсуль.

##### Варианты заданий:

4.1. Перенести выполнение действия на другое время. Выполнить требуемое действие до начала или после окончания работы.

4.2. Перейти от непрерывной подачи энергии (вещества) или непрерывного действия (процесса) к периодическому или импульсному. Инверсия приема.

4.3. Перейти от стационарного во времени режима к изменяющемуся.

4.4. Исключить бесполезные («вредные») интервалы времени. Использовать паузу между импульсами (периодическими действиями) для осуществления другого действия.

4.5. По принципу непрерывного полезного действия осуществлять работу объекта непрерывно, без холостых ходов. Все элементы объекта должны все время работать с полной нагрузкой.

4.6. Изменить последовательность выполнения операций.

4.7. Перейти от последовательного осуществления операций к параллельному (одновременному). Инверсия приема.

4.8. Совместить технологические процессы или операции. Объединить однородные или смежные операции. Инверсия приема.

#### **Занятие №5. Преобразование движения и силы**

*Пример.* В электрическом перфораторе для пробивания стен из различных материалов необходимо ввести электронный регулятор силы удара за счет изменения скважности импульсов тока, подаваемых на электромагнит. Такое введение приводит к необходимости защиты электронного регулятора от возникающих механических ударов, которые приводят к разрушению регулятора. Применение системы амортизации или сверхпрочной конструкции регулятора резко увеличивает стоимость перфоратора.

*Решение.* Разместить электронный регулятор в вилке электрического шнура для включения перфоратора в сеть. При этом механические воздействия с корпуса перфоратора не передаются через гибкий шнур на вилку.

*Варианты заданий:*

- 5.1. Изменить направление вращения.
- 5.2. Заменить поступательное (прямолинейное) или возвратно-поступательное движение вращательным. Инверсия приема.
- 5.3. Устранить или сократить холостые, обратные и промежуточные ходы и движения.
- 5.4. Существенно изменить направление движения, в том числе на противоположное.
- 5.5. Заменить традиционную сложную траекторию движения прямой или окружностью. Инверсия приема.
- 5.6. Заменить изгиб растяжением или сжатием. Заменить сжатие растяжением.
- 5.7. Разделить объект на две части — «тяжелую» и «легкую», передвигать только «легкую» часть.
- 5.8. Изменить условия работы так, чтобы не приходилось поднимать или опускать обрабатываемый объект.
- 5.9. Заменить трение скольжения трением качения. Инверсия приема.
- 5.10. Перейти от неподвижного физического поля к движущемуся. Инверсия приема.
- 5.11. Разделить объект на части, способные перемещаться относительно друг друга. Сделать движущиеся элементы неподвижными, а неподвижные - движущимися.
- 5.12. Изменить условия работы так, чтобы опасные или «вредные» моменты осуществлялись на большой скорости. Инверсия приема.
- 5.13. Использовать магнитные силы.
- 5.14. Компенсировать действие массы объекта соединением его с объектом, обладающим подъемной силой.

## **Занятие №6. Преобразование материала и вещества**

*Пример.* В начальной стадии лавинного пробоя в полупроводниках процесс ударной ионизации оказывается неустойчивым: ударная ионизация возникает, срывается, возникает вновь в тех местах  $p-n$  перехода, где оказывается в данный момент достаточная напряженность электрического поля.

Результатом случайной неравномерности генерации новых носителей заряда при ударной ионизации являются шумы, которые характерны для определенного диапазона токов. При работе таких, например, приборов, как стабилитроны, шумы – явление вредное. Именно поэтому диапазон токов, соответствующий шумам, исключают из диапазона рабочих токов стабилитрона. Однако для различных измерений в радиотехнике нужны генераторы шумовых напряжений.

Таким образом, в качестве генератора шумовых напряжений можно использовать диод в диапазоне обратных токов от минимального до максимально пробивного тока, где наблюдается наибольшая интенсивность электрических флуктуаций. Так, для шумовых диодов КГ401А – КГ401В этот диапазон соответствует значением токов 10 мкА – 1 мА.

#### Варианты заданий:

6.1. Рассматриваемый элемент и взаимодействующие с ним элементы сделать из одного и того же материала или близкого ему по свойствам. Инверсия приема.

6.2. Выполнить элемент или его поверхность из пористого материала. Заполнить поры каким-либо веществом.

6.3. Разделить объект (элемент) на части так, чтобы каждая из них могла быть изготовлена из наиболее подходящего материала.

6.4. Убрать лишний материал, не несущий функциональной нагрузки.

6.5. Изменить поверхностные свойства объекта (элемента); упрочить поверхность объекта; нейтрализовать свойства материала на поверхности объекта.

6.6. Заменить жесткую часть элементами из материала, допускающего изменение формы при эксплуатации; вместо жестких объемных конструкций использовать гибкие оболочки и пленки. Инверсия приема.

6.7. Изменить физические свойства материала, например, изменить агрегатное состояние.

6.8. Заменить некоторые объекты среды на объекты с другими физико-механическими и химическими свойствами.

6.9. Использовать другой материал (более дешевый, новейший и т. д.).

6.10. Использовать детали из материала с последующим отверждением.

6.11. Отделить вредные или нежелательные примеси от вещества.

6.12. Заменить традиционную окружающую среду. Рассмотреть возможность использовать вакуума, инертной, водной, космической или какой-либо другой среды.

6.13. Заменить объекты их оптическими копиями (изображениями); использовать изменение масштаба изображения. Перейти от видимых оптических копий к инфракрасным, ультрафиолетовым и другим изображениям.

6.14. Дорогостоящий долговечный элемент заменить дешевым, недолговечным.

6.15. Заменить разнородные по материалу и форме элементы одним унифицированным или стандартным элементом.

6.16. Выполнить элементы из материалов с различающимися характеристиками, дающими нужный эффект (например, с разным термическим расширением).

6.17. Вместо твердых частей использовать жидкие или газообразные (надувные, гидронаполняемые, воздушные подушки, гидростатические, гидрореактивные). Инверсия приема.

6.18. Выбрать материалы, обеспечивающие снижение отходов при изготовлении деталей. Например, перейти от применения деталей, изготавливаемых обработкой резанием, к деталям из пластмассы (изготавливаемых формовкой) или металлокерамики.

6.19. Перейти к безотходным технологиям, например, получить отходы материалов в более ценном виде позволяющем использовать их для изготовления других деталей.

6.20. Осуществить упрочнение материалов механической термической, термохимической, электрофизической, электрохимической, лазерной и другими видами обработки.

6.21. Использовать материалы с более высокими удельными прочностными, электрическими, теплофизическими и другими характеристиками.

6.22. Использовать армированные, композиционные, пористые и другие новые перспективные материалы.

6.23. Использовать материал с изменяемыми во времени характеристиками (жесткостью, прозрачностью и т.д.).

## **Занятие №7. Приемы дифференциации**

*Пример.* В 1875 г. русский изобретатель П.Н.Яблочков предложил электрическую свечу (дуговую лампу), в которой между концами двух угольных стержней (расположенных на одной прямой навстречу друг другу или под углом) образовалась электрическая дуга. Для поддержания этой дуги требовалось с некоторой постоянной скоростью сближать электроды по мере их сгорания. Это осуществлялось с помощью специального автоматического регулятора. Свеча Яблочкова быстро нашла практическое применение. Однако она имела существенный недостаток: регуляторы были сложными по конструкции и малонадежными, поскольку сгорание электродов по разным причинам было неравномерным.

Требовалось найти простое техническое решение, обеспечивающее надежную работу электрической свечи от двух электродов.

П.Н.Яблочков решал эту задачу, по-видимому, методом «проб и ошибок». После долгих мучений и попыток он, сидя в одном из кафе Парижа, случайно увидел два рядом лежащих карандаша и сразу понял, что электроды нужно расположить рядом параллельно, разделив их выгорающим изоляционным материалом. При таком техническом решении вообще исключается сложный ненадежный регулятор.

Варианты заданий:

7.1. Разделить движущийся поток (вещества, энергии, информации) на два или несколько.

7.2. Разделить сыпучий, жидкий или газообразный объект на части.

7.3. Сделать элемент съемным, легко отделяемым.

7.4. Дифференцировать привод и другие источники энергии; приблизить их к исполнительным органам и рабочим зонам.

7.5. Сделать автономным управление и привод каждому элементу.

7.6. Провести дробление традиционного целого объекта на мелкие однородные элементы с аналогичной функцией. Инверсия приема.

7.7. Разделить объект на части, после чего изготавливать, обрабатывать, грузить и т. п. каждую часть отдельно, а затем выполнять сборку.

7.8. Разделить объект на части так, чтобы их можно было заменять при изменении режима работы.

7.9. Разделить объект на части: «горячую» и «холодную»; изолировать одну от другой.

7.10. Представить объект в виде составной конструкции; изготовить его из отдельных элементов и частей.

7.11. Придать блочную структуру объекту; при которой каждый блок выполняет самостоятельную функцию.

7.12. Выделить в объекте самый нужный элемент (нужное свойство) и усилить его или улучшить условия его работы.

## 2 УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

1. Алексеев В.П., Озеркин Д.В. Системный анализ и методы научно-технического творчества / Учебное пособие. – Томск, ТУСУР, 2012. – 325 с. Электронный ресурс <https://edu.tusur.ru/training/publications/1284>.

2. Цой Ю.Р. Теория систем и системный анализ. Методические указания по практическим самостоятельным работам. – Томск, ТУСУР, 2012. – 20 с. Электронный ресурс <http://edu.tusur.ru/training/publications/1516>.

3. Силич М.П. Теория систем и системный анализ. Методические указания по выполнению практических и самостоятельных работ. – Томск, ТУСУР, 2012. – 25 с. Электронный ресурс <http://edu.tusur.ru/training/publications/670>.

4. Ярушкина Н.А. Теория систем и системный анализ. Учебно-методическое пособие. – Томск, ТУСУР, 2007. – 26 с. Электронный ресурс <http://edu.tusur.ru/training/publications/297>.