

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ  
ВОЛЖСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ (ФИЛИАЛ)  
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ВОЛГОГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ»

*К. В. Худяков*

**СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ НАУКИ В МАШИНОСТРОЕНИИ**  
**Курс лекций**

Электронное учебное пособие



Волжский  
2021

УДК 621(07)  
ББК 34.4я73  
Х 982

Рецензенты:  
начальник конструкторского отдела федерального научно-  
производственного центра «Титан-Баррикады»  
*Толстяков А. Ф.*,  
заместитель главного конструктора ОАО «ЕПК Волжский»  
*Зуев А. В.*

Издается по решению редакционно-издательского совета  
Волгоградского государственного технического университета

Худяков, К.В.

Современные проблемы науки в машиностроении. Курс лекций  
[Электронный ресурс] : учебное пособие / К.В. Худяков ;  
Министерство науки и высшего образования Российской Федерации,  
ВПИ (филиал) ФГБОУ ВО ВолгГТУ. – Электрон. текстовые дан. (1  
файл: 330 КБ). – Волжский, 2021. – Режим доступа: <http://lib.volpi.ru>.  
– Загл. с титул. экрана.

ISBN 978-5-9948-4185-3

Предназначено для студентов, обучающихся в магистратуре по  
направлению «Конструкторско-технологическое обеспечение  
машиностроительных производств». Рассматриваются современное состояние  
технологии машиностроения в целом, стоящие перед отраслью сложности,  
перспективные способы обработки материалов и приемы мышления,  
позволяющие решать стоящие перед специалистами проблемы легче и  
организованнее.

Ил. 5, библиограф.: 17 назв.

ISBN 978-5-9948-4185-3

©Волгоградский  
государственный  
технический  
университет, 2021  
© Волжский  
политехнический  
институт, 2021

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	4
1. Место машиностроения в истории и современности.....	7
2. Технологические уклады и место в них машиностроения.....	9
3. Жизненный цикл изделий.....	13
Понятие жизненного цикла изделия.....	13
Автоматизация поддержки жизненного цикла изделий машиностроения.....	22
Аббревиатуры систем автоматизации жизненного цикла изделий и их расшифровка.....	24
4. Перспективные технологии в машиностроении.....	28
5. Место автоматизации в технологии машиностроения.....	33
Действующие аббревиатуры, связанные с автоматизацией.....	34
Элементы автоматизации производства.....	35
Принципы организации автоматизации.....	36
6. Методы рационального мышления применительно к технологии машиностроения.....	38
Формы рационального мышления.....	38
Методы организованного рационального мышления.....	41
Теория и алгоритм решения изобретательских задач.....	48
Способы устранения технических противоречий.....	51
Идеальное техническое решение.....	59
Заключение.....	62
Список использованной литературы.....	63

## Введение

Машиностроение – отрасль обрабатывающей промышленности по производству всевозможных машин и оборудования, в частности, средств производства.

Существовало деление машиностроения на три группы [1]:

- трудоёмкое;
- металлоёмкое;
- наукоёмкое.

Но гораздо более интуитивно понятным является деление на следующие отраслевые подгруппы:

- тяжёлое машиностроение;
- общее машиностроение;
- среднее машиностроение;
- точное машиностроение;
- производство металлических изделий и заготовок;
- ремонт машин и оборудования.

**Общее машиностроение – это:**

- транспортное машиностроение. В него входят:
  - железнодорожное машиностроение и вагоностроение;
  - судостроение;
  - авиационная промышленность;
  - ракетно-космическая отрасль;
- сельскохозяйственным машиностроением;
- производство технологического оборудования для различных отраслей промышленности (все, что не входит в тяжёлое машиностроение).
- оборонное производство.

**Тяжёлое машиностроение – это разработка и производство**

- металлургического оборудования;
- горно-шахтного оборудования;
- кузнечно-прессового оборудования;
- подъёмно-транспортного оборудования и машин: грузоподъёмных кранов, лифтов, подъёмников, конвейеров;
- экскаваторов;

- оборудования для генерации и передачи электроэнергии;

а также разработка и производство технологического оборудования по отраслям:

- строительное и коммунальное машиностроение;
- сельскохозяйственное машиностроение;
- нефтегазовое машиностроение;
- химическое машиностроение;
- лесопромышленное машиностроение.

### **Среднее машиностроение**

В состав среднего машиностроения входят:

- автомобильная промышленность;
- тракторостроение;
- станкостроение, инструментальная промышленность;
- разработка и производство технологического оборудования для лёгкой и пищевой промышленности;
- робототехника;
- изготовление бытовых приборов и машин.

Во времена СССР Министерством среднего машиностроения называлось ведомство, наследником которого является госкорпорация «Росатом». Минсредмаш был организован в 1953 году, и в его структуру входили собственные рудники, заводы, НИИ, транспорт, сеть связи, вузы и пр.

### **Точное машиностроение**

Ведущие отрасли точного машиностроения:

- приборостроение;
- радиотехническая и электронная промышленность;
- электротехническая промышленность.

Продукция отраслей этой группы исключительно разнообразна – это оптические приборы, персональные компьютеры, радиоэлектронная аппаратура, авиационные приборы, волоконная оптика, лазеры и комплектующие элементы, часы.

## **Производство металлических изделий и заготовок**

- Производство ножевых изделий, столовых приборов, замочных и скобяных изделий, фурнитуры.
- Производство массовых металлоизделий (метизов) – проволоки, канатов, гвоздей, крепежа.

Общей особенностью для всех отраслей современного машиностроения является совершенствование средств производства, методов организации производства (к примеру, использование технологий серийного и массового изготовления), стандартизация и автоматизация процессов.

# 1. Место машиностроения в истории и современности

## История

Современное машиностроение включает в себя множество технологических процессов. Для того чтобы изготовить, скажем, автомобиль, требуется наличие металлургии, чтобы получить металлы и сплавы нужного качества, востребована технология литья и обработки резанием, химическая промышленность для производства всевозможных пластиков, электротехническая (генераторы, электродвигатели, аккумуляторы и электронная (датчики, контроллеры, бортовые компьютеры).

Понятие машины в настоящее время подразумевает достаточно сложное устройство, состоящее из множества компонентов, полученных как на «родном» заводе производителя, так и закупленных. Машины, существовавшие ранее, нельзя назвать простыми. Они могли превосходить современные по количеству составных частей (специализированные автоматические станки середины XX века могли быть весьма сложны, а сейчас с механической точки зрения обрабатывающий центр с ЧПУ проще, зато куда сложнее с электронной и программной частью).

Человеку в повседневной деятельности нужны инструменты, приспособления и, только если их не хватает, машины. Так, топор (неважно какой, современный или из каменного века) можно отнести к инструментам. Обычная дровяная печь – скорее приспособление, но не машина. А вот Антикитерский механизм, служивший для астрономических расчетов – машина.

## Современность

На 2018 год в объеме выпуска машиностроительной продукции 27,4% приходится на автомобилестроение, 12,3% – на электротехнику и приборостроение, 10,3% – на тяжелое, энергетическое и транспортное машиностроение, 6% – на химическое и нефтехимическое машиностроение, 2,4% – на машиностроение для легкой и пищевой промышленности, 2,1% – на строительно-дорожное машиностроение, 1,9% – на станкоинструментальную промышленность, 1,8% – на тракторное и сельскохозяйственное машиностроение, свыше 35% – на оборонные и прочие отрасли.

В структуре промышленного производства страны удельный вес машиностроения составляет около 20% (второе место, после топливно-энергетического комплекса), что, однако, в полтора-два раза ниже, чем в некоторых других экономически развитых странах, где он достигает 35-50%. В структуре валовой добавленной стоимости промышленности доля машиностроения составляет около 30%.

Машиностроение занимает второе место (после топливной промышленности) по стоимости основных промышленно-производственных фондов крупных и средних промышленных предприятий. В структуре инвестиций в основной капитал по отраслям промышленности страны доля машиностроения составляет более трети и более 15% – в структуре инвестиций по всем отраслям экономики.

Отрасль занимает второе место (после топливной промышленности) по вкладу в бюджет Российской Федерации. Предприятия отрасли имеются в большинстве регионов России, оказывая существенное влияние на развитие социальной инфраструктуры и состояние региональных и российских рынков труда. Являясь крупным потребителем продукции металлургии, химической промышленности, энергетики, транспорта и связи, машиностроительный комплекс содействует развитию этих и других отраслей.

Потребности машиностроительной отрасли в кадрах обеспечивают сотни технических университетов, учреждений дошкольного, начального, среднего профессионального образования страны и тысячи других социальных организаций.



## **2. Технологические уклады и место в них машиностроения**

Технологический уклад – это совокупность сопряжённых производств, имеющих единый технический уровень и развивающихся синхронно. Смену доминирующих в экономике технологических укладов предопределяет не только ход научно-технического прогресса, но и инерция мышления общества: новые технологии появляются значительно раньше их массового освоения и «привыкания» к ним людей. Хронологию укладов принято отсчитывать от первой промышленной революции (1770-е годы). Ориентировочное время, в течение которого уклад считался прогрессивным, 55-60 лет, после чего появлялись контуры нового уклада. Совпадает с понятиями «волны инновации» и «циклы Кондратьева».

### 1-й технологический уклад

Основной ресурс – энергия воды и теплота сгорания дров.

Главная отрасль – текстильная промышленность.

Ключевой фактор – текстильные машины.

Достижение уклада – механизация фабричного производства.

### 2-й технологический уклад

Основной ресурс – уголь и энергия пара, получаемая при его сжигании.

Главная отрасль – транспорт, чёрная металлургия.

Ключевой фактор – паровой двигатель, паровые приводы станков.

Достижение уклада – рост масштабов производства, развитие транспорта.

Гуманитарное преимущество – постепенное освобождение человека от тяжёлого ручного труда.

### 3-й технологический уклад

Основной ресурс – электроэнергия.

Главная отрасль – тяжёлое машиностроение, электротехническая промышленность.

Ключевой фактор – электродвигатель.

Достижение уклада – концентрация банковского и финансового капитала; появление радиосвязи, телеграфа; стандартизация производства.

Гуманитарное преимущество – повышение качества жизни.

#### 4-й технологический уклад

Основной ресурс – энергия углеводородов, начало ядерной энергетики.  
Основные отрасли – автомобилестроение, цветная металлургия, нефтепереработка, синтетические полимерные материалы.  
Ключевой фактор – двигатель внутреннего сгорания, нефтехимия.  
Достижение уклада – массовое и серийное производство.  
Гуманитарное преимущество – развитие связи, транснациональных отношений, рост производства продуктов народного потребления.

#### 5-й технологический уклад

Основной ресурс – атомная энергетика.  
Основные отрасли – электроника и микроэлектроника, информационные технологии, программное обеспечение, телекоммуникации.  
Ключевой фактор – микроэлектронные компоненты.  
Достижение уклада – цифровая революция, появление глобальных информационных сетей.  
Гуманитарное преимущество – возможность обеспечить каждого человека практически любым объемом информации.

#### 6-й технологический уклад (прогнозируемый)

Основной ресурс – атомная энергетика на основе замкнутого ядерного топливного цикла.  
Основные отрасли – нано- и биотехнологии, а также другие наноразмерные производства.  
Ключевой фактор – наноконпоненты, 3D-принтеры.  
Достижение уклада – индивидуализация производства и потребления, резкое снижение энергоёмкости и материалоемкости производства.  
Гуманитарное преимущество – существенное увеличение продолжительности жизни человека и животных.

Последовательность укладов – своеобразная технологическая история, при этом перескочить через уклад возможно, но затруднительно. Так, СССР к концу своего существования уверенно существовал в рамках 4-го уклада, но с переходом в 5-й возникли существенные проблемы, отчасти не преодоленные до сих пор. Проникновение технологий 5-го

уклада имеет место (автоматизация за счет применения компьютеров, контроллеров, процессоров и средств связи где только возможно), но с производством этих компонентов есть трудности. В частности, если производство промышленной и военной электроники существует и конкурентоспособно, то в потребительском сегменте отставание до сих пор огромно. Трудно за годы пройти путь, на который у лидеров рынка массовой микроэлектроники, Intel и AMD, ушли десятилетия.

Также следует отметить, что энергетическая основа укладов не настолько проста, как в вышеприведенной схеме. Очень много зависит от страны и того, насколько ей «повезло» с ресурсами. Так, атомная энергетика хоть и идеально вписывается в 5-й уклад, не является доминирующей, за исключением отдельных стран (например, Франции). В России доля атомной генерации непрерывно растет и есть предпосылки занять лидирующую позицию в технологиях замыкания топливного цикла, что обеспечило бы энергетическую базу развития на столетия вперед.

6-й уклад в настоящее время только оформляется. О том, что он состоялся, можно будет сказать лишь спустя некоторое время, когда технологии, явно превышающие возможности 5-го, разовьются и станут главенствующими. Пока можно только прогнозировать, какие именно технологии будут ключевыми.

Место машиностроения в каждом из укладов более чем достойное. В рамках каждого существует производство средств производства: ткацких станков, паровых машин, электродвигателей, генераторов, автомобилей, станков, 3D-принтеров. При переходе из уклада в уклад меняется номенклатура производимой продукции. Так, сейчас производство паровозов если и существует, то в очень ограниченном количестве и под специализированные задачи (работа в высокогорьях). В СССР серьезное внимание уделялось тяжелому станкостроению и сейчас ситуация такова, что лидерство в станкостроении упущено, но если смотреть в будущее, то, возможно, роль станков (в том числе пика их развития, многоосевых, с числовым программным управлением) в рамках 6-го уклада перестанет быть настолько важной, как сейчас. Массовое производство не исчезнет, но сократится. Вряд ли условные болты и гайки будут печатать с помощью аддитивных технологий, но уникальные детали с хорошо просчитанной в CAD/CAM-системах геометрией (заслуга 5-го уклада) станут гораздо более доступны.

При производстве сложных изделий машиностроения, например, автомобилей, применение аддитивных технологий способно удешевить и упростить производство, не изменив радикально его модель. На 3D-

принтере в условном гараже можно напечатать отдельную запчасть, но кузов целиком – уже другой уровень организации производства. Сборка также вряд ли существенно изменится.

Поскольку аддитивные технологии еще только развиваются, качество изделий еще не превышает то, что получено «традиционным» путем: литьем, штамповкой, обработкой резанием и т.д., но у них велик потенциал развития.

### 3. Жизненный цикл изделий

#### Понятие жизненного цикла изделия

Изделием в машиностроении называют предмет производства, изготавливаемый на предприятии. Жизненный цикл изделия (ЖЦИ) – это совокупность взаимосвязанных процессов создания и последовательного изменения состояния изделия от формирования исходных требований к нему до окончания его эксплуатации или потребления. Каждый из указанных процессов связывают с определенным этапом ЖЦИ (рис. 3.1). [3, 10].



Рис. 3.1. Жизненный цикл изделий [5]

На этапе маркетинга изучают рынок производимой машиностроительной продукции, выясняют, есть ли потребность в изделиях данного назначения и возникнет ли она в будущем. Определяют, каковы пожелания пользователей к этим изделиям. Устанавливают состав и значения основных показателей эксплуатационного качества (мощность, производительность, КПД, показатели надежности и т.п.). Разрабатывают общее описание конкурентоспособного изделия. В нем указывают условия эксплуатации и показатели эксплуатационного качества изделия, пользовательские предпочтения в отношении эргономических, эстетических и других характеристик продукции, требования к условиям

поставки. Ориентировочно определяют предполагаемый объем выпуска изделия.

На основе требований, содержащихся в описании изделия, оформляется техническое задание на его конструирование и разрабатывается конструкция изделия. При этом возможно создание различных вариантов конструкций, проведение необходимых расчетов, изготовление и исследование (отработка) опытных образцов изделия.

Все данные, необходимые и достаточные для изготовления, контроля, приемки, поставки, эксплуатации и ремонта разрабатываемого изделия, указывают в рабочей конструкторской документации (ГОСТ 2.103—68 «Единая система конструкторской документации. Стадии разработки»). Порядок разработки, оформления и обращения конструкторской документации установлен комплексом государственных стандартов Единой системы конструкторской документации (ЕСКД).

На этапе материально-технического обеспечения определяют перспективные потребности производства в различных ресурсах. Под производственными ресурсами понимают совокупность средств производства, а также трудовые, природные, финансовые, материальные, энергетические и информационные ресурсы, вовлеченные в процесс производства. Приобретают необходимые ресурсы для организации планирующегося выпуска разработанного изделия.

Под технологической подготовкой производства (ТПП) понимают совокупность мероприятий, обеспечивающих технологическую готовность производства (ГОСТ 14.004—83 «Технологическая подготовка производства. Термины и определения основных понятий»). Последняя определяется наличием на предприятии полных комплектов рабочей, конструкторской, технологической документации и технологической оснастки, необходимых для обеспечения заданного объема выпуска продукции с установленными технико-экономическими показателями.

Организацию и управление ТПП регламентируют государственные стандарты Единой системы технологической подготовки производства (ЕСТПП).

Под производством понимают организацию и осуществление изготовления продукции. Производство товарной (предназначенной для реализации на рынке) продукции называют основным. Производство принято разделять по типу: единичное, серийное и массовое; виду: литейное, сварочное, механосборочное и т.д.; уровню автоматизации: неавтоматизированное, автоматизированное и автоматическое; базовому принципу организации: непрерывно-поточное, переменнo-поточное и

непоточное. Наиболее развитую форму производства на основе сочетания информационных технологий и технологий материального производства называют компьютеризированным интегрированным производством (Computer integrated manufacturing – CIM).

Общей целью для всех этапов ЖЦИ является обеспечение высокого качества изделия при его производстве и эксплуатации. Этого добиваются путем техническими и организационными методами. Структуру ЖЦИ, изображенную на рис. 3.1, называют «петля качества».

Изготовитель (поставщик) и потребитель (заказчик) наравне участвуют в ЖЦИ. Для обеспечения высокого качества изделия и достижения своих целей они должны тесно сотрудничать и постоянно взаимодействовать друг с другом.

Освежим в памяти терминологию, описывающую организацию производства.

**Технологическим процессом** называют часть производственного процесса, содержащую целенаправленные действия по изменению и (или) определению состояния предмета труда (изделия).

В частности, при изготовлении заготовок производятся целенаправленные действия по превращению материала в заготовки. В процессе термической обработки осуществляются структурные изменения в материалах заготовок. При изготовлении деталей производится последовательное изменение геометрических форм, размеров, точности и качества поверхностного слоя. Технологический процесс сборки связан с изменением взаимного положения собираемых деталей через их соединение.

**Технологическая операция** – это законченная часть технологического процесса, выполняемая на одном рабочем месте. Технологическая операция может состоять из одного или нескольких технологических переходов.

**Технологическим переходом** называется законченная часть технологической операции, выполняемая одними и теми же средствами технологического оснащения при постоянных технологических режимах. Технологический переход может осуществляться за один или несколько рабочих ходов.

**Рабочий ход** – законченная часть технологического перехода, состоящая из однократного перемещения инструмента относительно

заготовки, сопровождающаяся изменениями формы, размеров, качества поверхности или свойств заготовки.

При выполнении технологической операции часто необходимо перезакреплять и изменять положение заготовки относительно рабочих органов станка или инструмента. Для этого введены понятия «установ» и «позиция».

**Установ** – это часть технологической операции, выполняемая при неизменном закреплении обрабатываемой заготовки или сборочной единицы.

**Позиция** – фиксированное положение, занимаемое неизменно закрепленной обрабатываемой заготовкой или собираемой сборочной единицей совместно с приспособлением относительно инструмента или неподвижных частей оборудования.

Технологические процессы (ТП) классифицируются на единичный, типовой и групповой.

*Единичный ТП* разрабатывается индивидуально на конкретное изделие.

*Типовой ТП* создают для группы изделий обладающих общими конструктивными и технологическим признаками.

*Групповой ТП* – это технологический процесс изготовления группы изделий с разными конструктивными, но общими технологическими признаками.

**Модульные технологические процессы** базируются на единстве технологических методов обработки элементарных поверхностей (модулей) различных деталей.

Степень детализации описания технологического процесса определяется серийностью производства и экономическими соображениями.

*В единичном производстве* осуществляется *маршрутное описание* технологического процесса, которое заключается в сокращенном описании всех технологических операций в последовательности их выполнения без указания переходов и технологических режимов.

*В мелкосерийном и серийном производствах*, а для ответственных изделий и в единичном производстве осуществляется *маршрутно-операционное описание* технологических процессов, при котором даются сокращенное описание технологических операций и маршрутной карте и полное описание ответственных операций, формирующих качество изделий.



*В серийном, крупносерийном и массовом производствах, а для ответственных изделий и в мелкосерийном производстве осуществляется операционное описание технологических процессов, которое сводится к полному описанию всех технологических операций в последовательности их выполнения с указанием переходов и технологических режимов.*

Качество изделия зависит от операционного описания технологических процессов. При эксплуатации и утилизации изделий, особенно при текущем и капитальном ремонтах, описание также востребовано. Технологическая подготовка занимает более 50% времени всей технической подготовки производства, и в условиях нехватки времени возникает необходимость автоматизации, в частности, использования вычислительной техники и программ для технологической подготовки производства.

Целесообразно объединение технологических аспектов всех этапов жизненного цикла изделия в единый технологический процесс.

Разработка конструкции начинается с ответа на вопрос, каково функциональное назначение изделия. Каждая машина предназначена для выполнения определенных функций при заданных условиях эксплуатации. Определение этих функций базируется на научном анализе и исследованиях условий эксплуатации. Также производителю приходится учитывать конкурентоспособность и экологичность технологического процесса, а также конкурентоспособность и перспективность продукции и услуг, для производства и реализации которых предназначается данная машина.

Например, производитель планирует выпустить легковой автомобиль. Для конкурентоспособности планирует продавать его значительно ниже средней рыночной цены. При этом неизбежны экономия на материале, простоте конструкции. В конце 1990-х годов известный производитель «АвтоВАЗ» имел на рынке предложение очень дешевого автомобиля, который имел некоторый успех, это «Ока». Конструкция оказалась не такой, чтобы вызвать восторг ценителей, но она работала. Казалось бы, условия конкурентоспособности были соблюдены, но вмешались новые экологические нормы, двигатель для соответствия которым получался значительно дороже.

Требования к служебному назначению машины включают в себя.

1. Вид продукции или услуг, для которых предназначена машина.
2. Производительность машины.
3. Уровень автоматизации.

4. Технологичность машины.
  5. Условия эксплуатации машины (температура, влажность и агрессивность среды и т.д.).
  6. Безотказность и долговечность машины.
  7. Удобство управления машиной, безопасность работы и обслуживания.
  8. Дизайн машины.
- Учитывая многообразие машин, для каждого их наименования эти требования уточняются и конкретизируются.

Сборочная единица, как правило, предназначается для передачи и увеличения силы, преобразования движения и осуществления других действий, необходимых для выполнения машиной своих функций. Исходя из этого, все сборочные единицы должны удовлетворять требованиям к своему служебному назначению, перечисленным для машины.

Свое функциональное назначение машина и сборочные единицы выполняют с помощью связей, действующих между исполнительными поверхностями отдельных деталей. Эти связи могут быть:

- размерными,
  - кинематическими,
  - динамическими,
  - гидравлическими,
  - пневматическими,
  - электрическими,
  - магнитными,
  - световыми,
  - звуковыми
- и др.

Проектирование машины и сборочных единиц начинают с выбора такого сочетания связей, которое позволяет им выполнять свое функциональное назначение с наивысшим КПД.

Конструкции машин непрерывно совершенствуются, а условия их эксплуатации – усложняются. За XX век точность изготовления некоторых элементов машин увеличилась почти в 2000 раз. Качество современных машиностроительных изделий характеризуется такими параметрами качества:

- точность размеров основных поверхностей деталей – до 3-го качества;

- допустимые отклонения формы поверхностей деталей: от плоскостности 0,2...2,0 мкм, от круглости 0,2... 1,0 мкм;
- шероховатость поверхностей деталей Ra 0,1... 0,0075 мкм.

Усложнение конструкций, рост требований к качеству изделий, усложнение условий их эксплуатации требует принятия сложных и эффективных решений в минимальные сроки. Это возможно лишь при организации компьютерно-интегрированного производства

Компьютерно-интегрированные производства (КИП) – это производства, организационно оформленные в комплексе с новыми информационными технологиями (ИТ) и компьютерными сетями *безотносительно к их географическому расположению*. КИП обеспечивают решение всех задач жизненного цикла (ЖЦ) изделия: маркетинга, проектирования и разработки изделия, планирования и разработки технологического процесса, материального обеспечения и подготовки производства, производства продукции, ее реализации, эксплуатации изделия, обслуживания изделия, утилизации.

К формам КИП относят: гибкое автоматизированное производство (ГАП); компактное интеллектуальное производство (КИПр); виртуальную производственную корпорацию (ВПК) с тремя главными особенностями.

В первую очередь, это обеспечение гибкости, способность быстрого перехода с выпуска одного вида изделия на другой при минимальных простоях оборудования и обеспечении стабильного качества продукции и ее конкурентоспособности. Существенной особенностью является использование технологических, транспортных, складских машин, способных решать интеллектуальные задачи на базе новейших информационных технологий, в т. ч. машинного обучения на базе нейросетей, вплоть до «слабого» искусственного интеллекта. Также значительную роль играют маркетинг, конструкторская и технологическая подготовка производства и связь между географически удаленными подразделениями.

Автоматизация производственных процессов в машиностроении прочно базируется на системах числового программного управления (ЧПУ, CNC) системах автоматизированного проектирования (САПР; CAD/CAM). Это настолько важная связка, что при дальнейшем развитии средств производства (например, внедрении промышленных 3D-принтеров) стандарты переносятся и на внедряемые новшества. В частности, «язык» станков с ЧПУ G-code успешно используется в «прошивках» 3D-принтеров.

С другой стороны, есть явная проблема хранения данных. Существуют несколько устойчивых форматов, которые являются стандартами де факто, но не де юре. Например, на уровне «электронного черчения» формат файлов \*.dwg известной программы AutoCAD является проприетарным, т.е. разработкой компании Autodesk, издателя этой программы. В целом особой тайны в технических особенностях этого формата нет, но «совместимые» программы при записи в «родной» формат Автокада могут выдавать весьма неожиданные ошибки, в целом не препятствующие чтению документов, но существенно осложняющие работу.

Высокий уровень автоматизации и информации управления производством изменяет и требования к людям-операторам, инженерам, бухгалтерам, научным работникам. Уменьшается доля тяжелой физической нагрузки, но существенно возрастает психологическая нагрузка, связанная с ответственностью и необходимостью принятия решений, причем на любом уровне. Например, программирование для станков с ЧПУ – работа вполне интеллектуальная, но цена ошибки в ней высока (порча станка стоимостью в десятки миллионов). Некоторые решения можно проверить в порядке симуляции. Те же программы для ЧПУ можно проверить программным инструментом «твердотельная верификация» или просто проверить работу программы на заготовке из мягкого материала. Но не всегда возможно подстраховаться. Например, решение о закупке и установке на предприятии той или иной САПР отменить нельзя, а риски приходится взвешивать существенные. Лицу, принимающему решения, приходится находить баланс между стоимостью САПР и их возможностями. Бесплатная – но крайне ограниченная по возможностям. Лидер рынка, известная во всем мире, но дорогая настолько, что может не окупиться никогда. Отечественная разработка, по возможностям сопоставимая, но не превосходящая мирового лидера, за приемлемую цену, но с совместимостью могут быть сложности.

Например, что вы выберете для 3D-моделирования: бесплатный Google SketchUp, очень дорогой SolidWorks или отечественный Компас? Некоторые решения подкупают поддержкой родных для пользователя реалий. Если вам нужно только 2D-черчение и конструкторская документация, для российских условий Компас подходит очень хорошо.

Еще одна проблема – «кривая обучения». «Интуитивно понятные интерфейсы» и т.п. решения хотя и присутствуют в программах, обслуживающих производство, но определенно недостаточны, чтобы пользователь мог за 1-2 часа освоиться с ними и успешно работать.

Требуется обучение. Зачастую оно платное. Для сотрудников это чаще всего выглядит как повышение квалификации. Которое, если проводится по принципу «главное, чтобы была отметка в документах», скорее демотивирует, нежели приносит пользу. Т.е. внедрение новшеств, на которые приходится переучивать сотрудников, должно быть обоснованным и абсолютно необходимым.

Например, перевод конструкторского бюро с бумажного черчения на AutoCAD – логичный и обоснованный шаг, в котором количество преимуществ явно превышает несущественные недостатки. Сотрудники, скорее всего, примут новинку с энтузиазмом (т.к. привычные методы работы уже слишком привычны и есть запрос на новизну), создание электронного архива экономит физическое место, высвободит помещения.

Антипример – спустя какой-нибудь год перевод того же конструкторского бюро на другую программу, какую именно – несущественно. По каким причинам – не важно. Скорее всего, такая инновация будет воспринята негативно: не успели привыкнуть к одной программе, как надо изучать другую, а знания по старой уже не нужны? Для предприятия это избыточные затраты и фиксация убытков, которые заведомо превысят прибыль от внедрения нового программного обеспечения, особенно учитывая то, что функционал программ до неразличимости схож.

То есть плохие управленческие решения могут свести на нет всю пользу от автоматизации.

Главные причины для увеличения гибкости производства в машиностроении:

- усиливающаяся индивидуализация запросов потребителей. Удовлетворить их своевременно возможно лишь при высокой гибкости производства, и автоматизации всех функций управления жизненным циклом изделий;
- ужесточение требований к качеству: это находит выражение в сертификации продукции и разработке международных стандартов, удовлетворить которые возможно лишь при использовании программно-управляемого оборудования (стандарты меняются неоднократно за срок жизни оборудования)
- рост потребности в наукоемкой продукции. Уникальные и специфические изделия также гораздо легче изготовить, если производство гибкое, а оборудование автоматизированное.

Для создания гибких производств есть следующие предпосылки:

- появление программируемых контроллеров относительно невысокой стоимости, обладающих малыми габаритами и высокой надежностью. Некоторые из них настолько распространены (Arduino, Raspberry), что профессионалы-производители считают их ширпотребом для любителей;
- широкое распространение локальных вычислительных сетей (LAN), стандартизация их архитектуры и протоколов;
- повышение работоспособности оборудования благодаря использованию новых конструкционных материалов и встроенных микропроцессорных систем, диагностики, в результате чего работа оборудования происходит без сбоев в течение всего срока морального старения при условии осуществления упреждающей диагностики и ремонта;
- широкое распространение персональных компьютеров, которыми можно оснастить практически все рабочие места.
- широкое распространение средств мобильной связи, благодаря чему оборудование можно оснащать средствами оповещения пользователей о текущем состоянии. В частности, контроллер можно запрограммировать, чтобы посылал сообщения на электронную почту о нештатных ситуациях.

### **Автоматизация поддержки жизненного цикла изделий машиностроения**

CALS (Continuous Acquisition and Life Cycle support) – технологии непрерывной поддержки и повышения эффективности бизнес-процессов, выполняемых в ходе жизненного цикла (ЖЦ) продукции за счет информационной интеграции всех его этапов – от маркетинга до утилизации.

Впервые концепция CALS возникла в середине 70-х гг. XX в. в оборонном комплексе США в связи с необходимостью повышения эффективности управления и сокращения затрат на информационное взаимодействие в процессе заказов, поставок и эксплуатации средств вооружения. Доказав свою эффективность, CALS-технологии начали активно применяться в промышленности, расширяясь и охватывая все этапы ЖЦИ – от маркетинга до утилизации. В этом качестве они также стали называться PLM (Product Life Cycle Management) технологиями (технологиями управления жизненного цикла изделия).

Возможность совместного использования информации обеспечивается применением компьютерных сетей и стандартизацией форматов данных. CALS-технологии состоят из набора приемов, методических и программных инструментов. К методическим инструментам относят, прежде всего, комплект международных и национальных стандартов, регламентирующих представление изделия и его ЖЦИ на концептуальном и логическом уровнях. Использование стандартов обеспечивает интеграцию данных, относящихся к различным этапам ЖЦИ, за счет унификации их представления.

Чтобы достичь должного уровня взаимодействия промышленных, автоматизированных и информационных систем, требуется создание единого информационного пространства не только на отдельных предприятиях, но и, что более важно, в рамках объединения предприятий. Единое информационное пространство создается благодаря унификации как формы, так и содержания информации о конкретных изделиях на различных этапах их жизненного цикла.

Унификации формы достигают использованием стандартных форматов и языков представления информации при документировании и межпрограммных обменах. Унификация содержания, понимаемая как однозначная правильная интерпретация данных о конкретном изделии на всех этапах его жизненного цикла, обеспечивается разработкой приложений, закрепляемых в прикладных CALS-протоколах. Система международных CALS-стандартов весьма обширна и разветвлена. Центральное место в ней занимает стандарт ISO 10303 (STEP), определяющий средства описания (моделирования) промышленных изделий на всех этапах жизненного цикла.

Единообразная форма описаний данных о промышленной продукции обеспечивается использованием в STEP языка EXPRESS, инвариантного к приложениям. Созданы единые информационные модели целого ряда приложений, получившие название прикладных протоколов.

Среди отечественных CALS-стандартов можно отметить группу «Системы автоматизации производства и их интеграция» включающую в себя:

ГОСТ Р ИСО 10303-1—99 «Системы автоматизации производства и их интеграция. Представление данных об изделии и обмен этими данными.

Часть 1. «Общие представления и основополагающие принципы»

ГОСТ Р ИСО 10303-21—99 «Системы автоматизации производства и их интеграция. Представление данных об изделии и обмен этими данными.

Часть 21. Методы реализации. Кодирование открытым текстом структуры обмена»;

ГОСТ Р ИСО 10303-41—99 «Системы автоматизации производства и их интеграция. Представление данных об изделии и обмен этими данными. Часть 41. Интегрированные обобщенные ресурсы. Основы описания и поддержки изделий»;

ГОСТ Р ИСО 10303-11—2000 «Системы автоматизации производства и их интеграция. Представление данных об изделии и обмен этими данными. Часть 11. Методы описания. Справочное руководство по языку EXPRESS»;

ГОСТ Р ИСО 10303-12—2000 «Системы автоматизации производства и их интеграция. Представление данных об изделии и обмен этими данными. Часть 12. Методы описания. Справочное руководство по языку EXPRESS-1»;

ГОСТ Р ИСО 10303-45—2000 «Системы автоматизации производства и их интеграция. Представление данных об изделии и обмен этими данными.

Соблюдение CALS-стандартов устанавливает известные ограничения на принципы создания и применения программных средств, используемых на различных этапах ЖЦИ: указанные средства должны быть CALS совместимыми, т.е. разработанными на общей (единой) методической базе. CALS-технологии не отвергают, в принципе, автоматизированные системы проектирования и управления, а являются средством обеспечения их эффективного взаимодействия. Поэтому интеграция автоматизированных систем на современных предприятиях должна быть основана на CALS-технологиях. Их внедрение требует освоения имеющихся технологий и CALS-стандартов, развития моделей, методов и программ автоматизированного проектирования и управления.

### **Аббревиатуры систем автоматизации жизненного цикла изделий и их расшифровка**

Системы автоматизации, используемые на различных этапах ЖЦИ, весьма разнообразны и включают соответствующие программные компоненты:

- CAE — Computer Aided Engineering (автоматизированные расчеты и анализ);



- CAD — Computer Aided Design (автоматизированное проектирование изделий);
- CAM — Computer Aided Manufacturing (автоматизированная технологическая подготовка производства);
- CAPP — Computer Aided Process Planning (автоматизированное проектирование технологических процессов);
- CAAP — Computer Aided Assembly Planning (автоматизированное проектирование процессов сборки);
- PDM — Product Data Management (управление проектными данными о продукте (изделии));
- PLM — Product Life Cycle Management (управление жизненным циклом изделия);
- ERP — Enterprise Resource Planning (планирование и управление предприятием);
- MRP-2 — Manufacturing (Material) Requirement Planning (планирование производства);
- MES — Manufacturing Execution System (производственная исполнительная система);
- SCM — Supply Chain Management (управление цепочками поставок);
- SCADA — Supervisory Control And Data Acquisition (диспетчерское управление производственными процессами);
- CNC — Computer Numerical Control (компьютерное числовое управление);
- CRM — Customer Relationship Management (управление взаимоотношениями с заказчиками);
- S&SM — Sales and Service Management (управление продажами и обслуживанием);
- CPC — Collaborative Product Commerce (совместный электронный бизнес).

Современные САПР, обеспечивающие сквозное проектирование сложных изделий или, по крайней мере, выполняющие большинство проектных процедур, имеют модульную структуру. Модули различаются своей ориентацией на те или иные проектные задачи применительно к тем или иным типам устройств и конструкций.

Системы САМ призваны решать отдельные задачи проектирования ТП (построение операций; выбор оборудования, инструмента; оснастки и т.п.), а также обеспечивать подготовку управляющих программ для станков с ЧПУ. Модули системы САМ часто входят в состав развитых САПР, называемых системами CAD/CAM, или CAE/CAD/CAM. Основные

функции современных систем САМ сосредоточены, в основном, на автоматизации подготовки управляющих программ для станков с ЧПУ.

Для решения проблем совместного функционирования компонентов САПР различного назначения применяют системы управления проектными данными об изделии — системы PDM. Они либо входят в состав модулей конкретной САПР, либо имеют самостоятельное значение и могут работать совместно с разными САПР, например, CAD/CAM/CAPP/PDM.

Функции управления на промышленных предприятиях выполняют автоматизированные системы на нескольких иерархических уровнях. Автоматизацию управления на верхних уровнях от корпорации (производственных объединений предприятий) до цеха осуществляют системы ERP или MRP-2.

Наиболее развитые системы ERP выполняют различные бизнес-функции, связанные с планированием производства, закупками, сбытом продукции, анализом перспектив маркетинга, управлением финансами, персоналом, складским хозяйством, учетом основных фондов и т.п. Системы MRP-2 ориентированы, главным образом, на функции, непосредственно связанные с производством. Они контролируют и используют данные, характеризующие состояние технологического оборудования и протекание техпроцессов. Их чаще всего называют системами промышленной автоматизации. Для выполнения диспетчерских функций (сбора и обработки данных о состоянии оборудования и техпроцессов) и разработки программного обеспечения для встроенного оборудования в состав рассматриваемых систем вводят систему SCADA. Для непосредственного программного управления технологическим оборудованием используют системы CNC на базе контроллеров (специализированных компьютеров, называемых промышленными), встроенных в технологическое оборудование.

Функции некоторых автоматизированных систем часто перекрываются. В частности, это относится к системам ERP и MRP-2. Управление маркетингом может быть «поручено» как системе ERP, так и системе CRM или S&SM.

Автоматизированные системы ТПП, в полной мере отвечающие представленным принципам и требованиям пользователей, в настоящее время разработаны лишь частично. Полная их интеграция представляет серьезную, актуальную научно-техническую (учесть все стандарты и номенклатуру изделий) и социальную (конкуренция) проблему.

Недостаточно высокий общий уровень современной автоматизации ТПП объясняется тем, что технологические решения, подчиняясь общим закономерностям принятия решений, имеют ряд особенностей, обусловленных:

- преобладание в предметной области технологии машиностроения описательных форм представления знаний при минимальном числе вскрытых строгих аналитических зависимостей;
- многофакторность решаемых задач. Например, для автоматизации выбора режимов резания недостаточно «оцифровать» справочники, надо учитывать возможные режимы работы оборудования по каждому из назначаемых параметров;
- большая роль опытных знаний, аналитически описываемых множеством эмпирических формул;
- необходимость учитывать переменные различных типов для окружения: характеристики оборудования, инструмента, оснастки; данные о свойствах материалов и т.д.;
- итерационный характер принятия технологических решений: решение обычно формируется путем последовательного приближения к наиболее приемлемому для заданных условий результату.

Большинство задач, выполняемых при ТПП, являются трудно- или неформализуемыми. Для их решения пока не могут быть предложены формальные (базирующиеся на использовании формульных зависимостей) алгоритмы.

## 4. Перспективные технологии в машиностроении

Технологии, позволяющие формировать детали, могут иметь давнюю историю и накопить немало традиций. Например, история литья насчитывает столетия, обработка резанием также имеет почтенный возраст (больше века). Технологии на месте не стоят (например, в какой-то момент появилось литье под давлением, а режимы резания за 20-й век повысились минимум на порядок за счет быстрорежущих инструментальных сталей. Возможно, некоторые изменения произойдут с каждой из имеющихся традиционной технологией, но прогресс приводит к периодическому появлению прорывных или по меньшей мере многообещающих технологий. К одной из таких относится аддитивная технология.

Аддитивная технология – процесс соединения материалов для создания объектов на основе данных, взятых из трехмерных моделей, как правило, послойно. В разное время использовались такие термины, как аддитивное изготовление, аддитивные процессы, аддитивные методы, аддитивное послойное производство, послойное производство, изготовление твердотельных изделий произвольной формы и изготовление изделий произвольной формы.

В этой динамически развивающейся отрасли быстро появляются новые термины. 3D-печать, согласно стандарту ISO/ASTM 52900, – это изготовление объектов путем нанесения материала печатной головкой, с помощью сопла или другой технологии печати. Сейчас термины «аддитивное производство» и «3D-печать» означают одно и то же.

«Аддитивное производство» (Additive Manufacturing) – официальный отраслевой термин, утвержденный организациями по стандартизации ASTM и ISO, однако словосочетание «3D-печать» более распространено и фактически стало стандартом. Особенно широко оно используется в СМИ, терминологии стартапов, инвесторов и других сообществ.

Одно из преимуществ аддитивных технологий – возможность создания объектов сложной формы и структуры с высокой точностью.

В аддитивном производстве (АП) изделия можно создавать послойно путем:

- экструзии,
- разбрызгивания (струйного напыления),
- УФ-отверждения,
- ламинирования,
- сплавления материалов.

Основные технологии, применяемые при создании изделий на аддитивных установках:

- CJP (ColorJet Printing) – технология полноцветной 3D-печати путем склеивания специального порошка на основе гипса;
- MJP (MultiJet Printing) – многоструйное моделирование с помощью фотополимера или воска;
- SLA (Laser Stereolithography) – лазерная стереолитография, основана на послойном отверждении жидкого материала под действием лазера;
- SLS (Selective Laser Sintering) – селективное лазерное спекание под лучами лазера частиц порошкообразного материала до образования физического объекта по заданной трехмерной модели;
- SLM/DMP (Selective Laser Melting / Direct Metal Printing) – селективное лазерное плавление металлического порошка по трехмерным моделям при помощи лазера.

Основные материалы, используемые в аддитивных процессах:

- воск;
- пастообразные пластики;
- УФ- и фотоотверждаемые жидкие фотополимеры;
- керамонаполненные жидкие фотополимеры;
- гипсовый порошок;
- полистирол в виде порошка;
- стеклонаполненные, угленаполненные и металлонаполненные полиамиды в виде порошка;
- металлические сплавы в виде порошка и др.

Аддитивные технологии используются для создания физических моделей, прототипов, образцов, инструментальной оснастки и производства пластиковых, металлических, керамических, стеклянных, композитных компонентов и компонентов из биоматериалов. Принцип действия аддитивных установок основан на построении тонких горизонтальных слоев из 3D-моделей, которые можно создавать двумя путями: с помощью систем автоматизированного проектирования (САПР) и 3D-сканеров.

3D-печать активно используется в авиакосмической, автомобильной, нефтегазовой промышленности, в судостроении, медицине, ювелирном деле и многих других отраслях

Проектные и производственные предприятия используют АП для изготовления изделий потребительского, промышленного, медицинского и военного назначения, и это далеко не все. Камеры, мобильные телефоны, детали двигателей, внутренняя отделка автомобилей, детали и узлы самолетов, станки и медицинские имплантаты – лишь начало обширнейшего списка продуктов аддитивного производства.

АП упрощает и ускоряет процесс разработки продукции. Компании прибегают к аддитивным технологиям, стремясь сократить время производства, повысить качество продукции и сократить затраты. В качестве средства визуализации 3D-печать помогает предприятиям определить вероятность создания дефектной или неудовлетворительной продукции. Кроме того, разрабатываются методы, процессы и системы для изготовления оснастки. Первые попытки были направлены на быстрое создание оснастки, например, форм для литья под давлением, но они не были успешными.

В последнее время 3D-печать стали использовать для повышения качества оснастки для литья под давлением. В некоторых областях АП применяют для получения результатов, недостижимых при использовании обычных станков. В других производствах аддитивные технологии используются для создания таких инструментов для изготовления и сборки, как зажимные устройства, крепления, шаблоны и направляющие для сверления и резки.

3D-печать оказывает большое влияние на производство многих продуктов. Предприятия – крупные и малые – успешно применяют технологии для производства готовых изделий. По мнению экспертов, производство готовых изделий станет крупнейшей областью применения аддитивных технологий. Эта технология может повлиять на производство больше, чем другие, традиционные, методы.

Отрасль продолжает развиваться, возникают новые методы, технологии, материалы, прикладные задачи и бизнес-модели. Расширяется география и сфера промышленного применения АП. Аддитивные технологии уже оказали огромное влияние на развитие проектирования и производства; в будущем их роль будет все больше возрастать.

В России рынок 3D-технологий достаточно молод, но уже показывает динамичный рост (по данным Роснано, около 30% в год). Все больше компаний осознают потребность в применении аддитивных методов в производстве и научных исследованиях. Есть организации, которые активно занимаются сертификацией материалов и уже тестируют 3D-принтеры собственного производства. На предприятиях появляются

лаборатории по разработке и внедрению 3D-решений на отдельных участках технологического цикла.

Сегодня речь о полном переходе на аддитивные технологии не идет – пока что они способны эффективно дополнять классические процессы или заменять их на каком-то определенном участке цикла. Тем не менее, многие эксперты отрасли утверждают, что в недалеком будущем аддитивное производство станет неотъемлемой частью технологических процессов на предприятии.

Принципиальное отличие аддитивных технологий от ранее созданных – возможность создавать очень сложные формы, которые при ручном проектировании вряд ли были бы созданы вообще. Автоматизация проектирования, когда человек ставит задачу, а алгоритмы или нейросети ее решают наиболее выгодным, но неочевидным для человека способом, могут дать удивительные технические решения. Одно из возможных достоинств: снижение массы изделий. При автоматизированном расчете нагрузки легче убрать материал оттуда, где он, скорее всего, не нужен.

Примеры узлов, созданных с помощью 3D-печати:



Рис. 4.1. Керамические детали



Рис. 4.2. Гидравлический блок из металла, изготовленный на установке 3D-печати EOS M290 в TechCenter Additive Manufacturing компании Thyssenkrupp



## 5. Место автоматизации в технологии машиностроения

Автоматизация – это процесс в развитии машинного производства, при котором функции управления и контроля, ранее выполнявшиеся человеком, передаются приборам и автоматическим устройствам. Введение автоматизации на производстве позволяет значительно повысить производительность труда, обеспечить стабильное качество выпускаемой продукции, сократить долю ручного труда.

Замещение физического труда долгое время происходило посредством механизации производственного процесса. Интеллектуальный труд долгое время оставался «ручным». В настоящее время операции физического и интеллектуального труда, поддающиеся алгоритмизации, становятся объектом автоматизации.

Автоматические устройства долгое время, вплоть до XVIII в., не получали практического применения и оставались занимательными игрушками, «автоматонами», внешне создававшими иллюзию интеллектуальности машины.

Промышленная революция XVIII—XIX вв. создала потребность в автоматизации производства, в первую очередь, прядильного, ткацкого, металло- и деревообрабатывающего. Цель – сократить ручной труд, зачастую без учета интересов трудящихся руками. Технологический прогресс вызвал к жизни движение луддитов, которые видели в машинах и автоматизации корень всех зол, хотя на самом деле машины были лишь средством, а проблемы высвобожденных из производства рабочих были порождены собственниками машин.

На каждом этапе технического прогресса, в каждом технологическом укладе история повторяется. Всегда существует риск, что какая-нибудь профессия окажется ненужной. Так, сейчас в связи с развитием псевдоинтеллектуальных систем, известных как нейронные сети, возможно замещение человеческого труда в таких неожиданных профессиях, как водитель (правила дорожного движения – практически алгоритм), бухгалтер (правила учета также хорошо формализованы), юрист (все законы с точки зрения информационных технологий – очень большая база текстовых данных).

Из наиболее близких к машиностроению профессий, скорее всего, никогда не будет заменен машинным способом дизайн, т.к. возможно рассчитать рациональную конструкцию детали или машины, но оценить ее с точки зрения красоты и эстетики пока что не может ни одна программа.

Представление об автоматах до XIX в. замыкалось в рамки классической механики, рассматривавшей их как обособленные механизмы.

С появлением механических источников электрической энергии – генераторов постоянного и переменного тока и электродвигателей оказалась возможной централизованная выработка энергии, передача её на значительные расстояния и дифференцированное использование на местах потребления. Тогда же возникла необходимость в автоматической стабилизации напряжения генераторов, без которой их промышленное применение было ограниченным.

Переход от центрального трансмиссионного привода к индивидуальному в 20-х годах XX века чрезвычайно расширил возможности совершенствования технологии механической обработки и повышения экономического эффекта. Простота и надёжность индивидуального электропривода позволили механизировать не только энергетику станков, но и управление ими. На этой основе возникли и получили развитие разнообразные станки-автоматы, многопозиционные агрегатные станки и автоматические линии. Широкое применение автоматизированного электропривода в 30-е годы XX века не только способствовало механизации многих отраслей промышленности, но по существу положило начало современной автоматизации производства. Тогда же возник и сам термин «Автоматизация производства».

#### **Действующие аббревиатуры, связанные с автоматизацией**

АЛ — Автоматизированная линия.

АСИО — Автоматизированная система инструментального обеспечения.

АРМ — Автоматизированное рабочее место.

АСК — Автоматизированная система контроля.

АСНИ — Автоматизированная система научных исследований.

АСТПП — Автоматизированная система технологической подготовки производства.

АСУ — Автоматизированная система управления.

АСУП — Автоматизированная система управления производством.

АСУТП — Автоматизированная система управления технологическими процессами.

АСС — Автоматизированная складская система.

АТНС — Автоматизированная транспортно-накопительная система.

АТСС — Автоматизированная транспортно-складская система.

АЭСП — Автоматизированная энергетическая система производства.  
ГАП — Гибкое автоматизированное производство.  
ГАУ — Гибкий автоматизированный участок.  
ГАЦ — Гибкий автоматизированный цех.  
ГПК — Гибкий паллетный контейнер (FPC — Flexible Pallet Container).  
ГПМ — Гибкий паллетный магазин (FPM — Flexible Pallet Magazin).  
ГПС — Гибкая производственная система (FMS — Flexible Manufacturing System) (англ.).  
ГПЯ — Гибкая производственная ячейка.  
МУС — Многоуровневая система (MLS — Multi-level System).  
ПР — Промышленный робот.  
РПМ — Роботизированный производственный модуль (RPC — Robotic Production Cell).  
РТК — Роботизированный технологический комплекс (RoboFMS — Robotic Flexible Manufacturing System).  
РТЛ — Роботизированная технологическая линия.  
РТУ — Роботизированный технологический участок.  
РТЯ — Роботизированная технологическая ячейка.  
РЛ — Роторная линия.  
САК — Система автоматизированного контроля.  
САПР — Система автоматизированного проектирования.  
СОРО — Система обслуживания и ремонта оборудования.  
СПО — Система программного обеспечения.  
ТМ — Технологическая машина.  
ТР — Транспортный робот.

### **Элементы автоматизации производства**

Современные производственные системы, обеспечивающие гибкость при автоматизированном производстве, включают в себя:

- Станки с числовым программным управлением (ЧПУ). Массовое распространение микропроцессоров существенно повлияло на возможности таких станков и удобство их использования.
- Промышленные роботы, впервые появившиеся в 1962 году. Массовое распространение также связано с развитием микроэлектроники.
- Роботизированные технологические комплексы (РТК).
- Гибкие производственные системы, характеризующиеся сочетанием технологических единиц и роботов, управляемые ЭВМ, имеющие

оборудование для перемещения обрабатываемых деталей и смены инструмента.

- Автоматизированные складские системы. Предусматривают использование управляемых компьютером подъемно-транспортных устройств, которые закладывают изделия на склад и извлекают их оттуда.
- Системы контроля качества на базе ЭВМ (англ. Computer-aided Quality Control, CAQ) – техническое приложение компьютеров и управляемых компьютерами машин для проверки качества продуктов.
- Системы автоматизированного проектирования (англ. Computer-aided Design, CAD) используются при разработке новых изделий и технико-экономической документации.

### **Принципы организации автоматизации**

В основе организации производственного процесса на каждом предприятии и в любом его цехе лежит рациональное сочетание всех основных, вспомогательных и обслуживающих процессов, обеспечивающих формирование деталей из заготовок и перемещение материалов и деталей по цеху. Есть общие принципы:

- специализации. Решение для пищевой промышленности может не подойти для металлургии или металлообработки.
- пропорциональности. Масштабировать возможно далеко не каждое решение. Например, применение электроэнергии для транспортных средств легко осуществимо для мелких изделий (детские игрушки, гироскутеры), с трудом продвигается для серийных автомобилей, а для грузовиков типа «Белаз» аккумуляторы не нужны, т.к. есть бортовая «электростанция» – двигатель, работающий в оптимальном режиме и вращающий генератор.
- параллельности. Пример не из машиностроения, но близко. 2-ядерный процессор частотой 2 ГГц оказывается производительнее 1-ядерного на 4 ГГц.
- прямоочности. Подразумевается последовательное выполнение операций и минимальные перемещения в пространстве. Аналог из программирования – как можно меньше произвольных безусловных переходов.

- минимума перерывов. Оборудование, в отличие от людей, может и должно работать 24 часа в сутки.
- ритмичности. Непрерывное производство возможно, но чаще возможна периодическая работа: например, сначала загрузить заготовочный пруток, затем запустить автомат с ЧПУ, вытачивающий детали, пока металл не закончится. Также по возможности следует учитывать потребность людей в отдыхе.
- замена в первую очередь неквалифицированного монотонного труда. Это правило часто нарушается стремлением автоматизировать не неквалифицированный, но хорошо алгоритмизируемый труд (чат-боты, боты-трейдеры, автопилот автомобиля).
- упрощение сложных производственных процессов заменой на множество простейших. Слишком сложные решения нерациональны.

## **6. Методы рационального мышления применительно к технологии машиностроения**

### **Формы рационального мышления**

Претворению в жизнь инженерных идей предшествует определенный замысел. Замысел является осознанием потребности и служит отправной точкой творческого процесса. Не только воплощение идеи в «металл» является творчеством, поиск идеи тоже является творческим процессом.

Творчество – это процесс создания новых материальных и нематериальных ценностей в непрерывном взаимодействии с объективной реальностью.

Условно в творческом процессе можно выделить:

- Появление идеи
- Планирование
- Реализация плана, воплощение идеи в вещь.

В реальности эти этапы достаточно условны, в практической деятельности их последовательность может быть любой и легко возможно их взаимопроникновение. Более того, появление новых идей чаще всего происходит при реализации уже имеющихся.

Появление замысла, идеи инновации происходит, если существует противоречие между существующими продуктами, технологиями, организацией труда и новыми условиями хозяйствования. Возникает запрос на новизну или хотя бы рационализаторское предложение.

При наличии идеи изобретатель и рационализатор составляют план, как воплотить идею в жизнь. Даже если не составляется документов стандартизированной формы, общее представление о том, что надо сделать – своего рода планирование. Человек опирается на свой и чужой опыт и даже интуицию. Использование чужого опыта подразумевает знакомство с патентами, лицензирование производства.

При воплощении плана в жизнь в фоновом режиме анализируется его результативность. Если возникает необходимость, планы следует корректировать.

В процессе познания и создания нового существуют следующие «режимы» мышления.

**Наблюдение** подразумевает только чувственное восприятие и инструментальное изучение. В технических науках последнее доминирует: большая часть полезной информации исследователь получает с помощью приборов. Запись показаний – отдельное поле деятельности в автоматизации, но в целом это тоже наблюдение.

**Анализ** – это метод исследования, состоящий в мысленном или фактическом разложении целого на составные части.

Предположим, у нас есть стиральная машина и нам интересно, как она устроена. Мы разбираем ее на составные части и пытаемся понять, для чего служит каждая. Или же ищем описание, техническую документацию или даже трехмерную сборку такой или подобной машины и пользуемся анализом, уже сделанным до нас.

**Синтез** – это метод исследования, состоящий в соединении отдельных частей в единый объект.

На термометре минус, вместо дождя падает снег, на деревьях нет листвы – синтезируем отдельные признаки и выносим вердикт, что наступила зима.

**Абстракция** – это мысленное отвлечение ряда свойств предметов и отношений между ними. Абстракции – это обобщенные понятия, отвлеченные от конкретного изучаемого предмета, но отражающие его суть.

Если у человека есть права на вождение легкового автомобиля, то это может быть любой автомобиль (в рамках оговоренных свойств, например, максимальная снаряженная масса), т.е. абстрактное средство перемещения на 4 (не обязательно! Могут быть и 3) колесах для нескольких человек и некоторого количества груза.

Выдвижение **гипотезы** – это формулировка предположения, служащего для объяснения какого-либо явления. Гипотеза требует проверки опытом или обоснования. Если гипотеза не подтверждается, она должна быть заменена другой.

Изначальная гипотеза: на болт М6 можно навинтить любую гайку. У гипотезы будет частичное подтверждение: гайки меньшего диаметра категорически не желают входить в соединение, большего – просто не образуют соединение.

Скорректированная гипотеза: к болту М6 подойдет гайка такого же номинала. Проверку опытом проходит и описывает реальность адекватно.

**Прогнозирование** – это предвидение нового, основанное на результатах познания объективных законов. Прогноз всегда носит вероятностный характер. Самая простая форма прогноза – предсказание,

отталкивающееся от повторяемости событий (через 12 месяцев будет так же тепло, как сейчас летом, а через 6 месяцев наоборот, холодно). Предвидение может быть основано на аналогии (некоторые формулы в гидравлике и электродинамике удивительно схожи). Наиболее точен прогноз, основанный на объективных законах (нагретое тело обязательно остынет, передав теплоту окружающим более холодным телам, 2-й закон термодинамики).

**Интуиция** – способность находить правильное решение проблемы без логического обдумывания. Возникает как внутреннее озарение, раскрывающее суть вопроса. Однако без предварительной подготовки интуиция может и не сработать, а предложенные решения без знания законов физики могут и не сработать. Примеры «интуитивных» предложений:

– В городах зимой много снега, давайте его растапливать и сливать в канализацию. Рациональный ответ: как только посчитаем, то выясним, что нет такого количества энергии, легче вывозить снег на грузовиках – это тоже затратно, но в пределах достижимого;

– В автомобилях нас не устраивает бензин как источник энергии, т.к. при сгорании есть выхлопы. Мы помним, что можно создать электромобиль, но там свои трудности, главная из которых – аккумуляторы. Давайте сделаем дешево и сердито: пусть источником энергии на автомобиле станет... сжатый воздух. Рациональный ответ: да, можно привести транспортное средство в движение с помощью сжатого воздуха, но у такого источника энергии есть фатальный недостаток: непостоянная мощность. Бензин до последнего литра выдает штатные 100 лошадиных сил и обеспечивает движение, а как только воздуха в баллоне станет меньше половины, пневматический автомобиль будет ехать медленнее, а потом и вовсе встанет.

**Воображение** – это способность построения человеком наглядных образов и моделей на основе преобразования представлений об уже существующих.

Вообразить можно многое. От вала с тремя посадочными местами для подшипников (когда нужно? Возможно, когда вал особо длинный) до телепортации объекта из точки А в точку Б (это, бесспорно, удобно). Воображение может быть направлено на разные объекты и принимать различные формы: от эскиза будущей детали на салфетке до научно-фантастического романа. Воображение полезно как инструмент мысленного моделирования или не обязательно мысленного. Концепт дизайнера, воплощенный в трехмерной модели – тоже результат



воображения. Ограничить идеи рамками современных технологических возможностей никогда не поздно, и много идей лучше, чем совсем никаких или повторение старых решений.

## **Методы организованного рационального мышления**

### **Метод проб и ошибок**

является самым древним и наименее эффективным. Сущность его в последовательном выдвижении и рассмотрении самых разнообразных идей решения актуальной проблемы. Неудачная идея каждый раз отбрасывается и взамен выдвигается новая. Нет правил поиска верной идеи и ее оценки. При этом методе применяются в основном субъективные критерии оценки правильности идеи, где существенную роль играет профессионализм и квалификация «генератора» идей или близкого ему эксперта. Главный недостаток этого метода – он долгий, слишком длительный. Удачные решения могут как найтись, так и не найтись, но уходит время и производство может отстать от прогресса и стать неконкурентоспособным.

### **Метод контрольных вопросов**

Это усовершенствованный метод проб и ошибок. Вопросы задаются по заранее подготовленному списку.

Главная ценность заключается в психологической активизации творческого процесса с целью нащупать решение проблемы с помощью серии наводящих вопросов. Исследователь отвечает на вопросы из списка, рассматривая свою задачу исследования в связи с этими вопросами. Обычно вопросы отражают наиболее существенные проблемы, хотя, конечно, нельзя исключить возможности попадания в список поверхностных, то есть слабых, несущественных вопросов.

Некоторые вопросы могут быть демотивирующими. Например, «кто выгодоприобретатель?» может заставить задуматься, а зачем вообще что-то совершенствовать, если существенного экономического эффекта может и не быть.

В то же время правильная формулировка вопроса может привести к решению эффективное, но не прямолинейное. Например.

В учебном заведении есть дефицит аудиторий. Вопрос можно задать «в лоб»: где разместить студентов, но ответы будут неудовлетворительными: построить еще один корпус (неприемлемо дорого или невозможно), арендовать помещения (дорого и бесперспективно), пустить под лекционные аудитории столовую, раздевалку и преподавательские комнаты (тоже ничего хорошего). Но если задать вопрос более туманно: какие можно привлечь ресурсы, чтобы обеспечить всех студентов аудиториями, и перечислить их, то среди них наверняка будет ресурс времени. Как его применить? Расширить время учебы. Если начало занятий сместить с 9.00 на 8.00, а окончание с 17.00 на 18.00, это означает не 5 пар, а 6 в день, т.е. эквивалентно приросту учебных площадей на 20%.

### **Морфологический метод**

Состоит в следующем:

1. Дается точная формулировка проблемы, подлежащей решению. Например, мы можем пожелать изучить морфологический характер всех видов движения или всех возможных двигательных установок, телескопов, насосов, средств сообщения, средств обнаружения и т.д. Если поступает запрос об одном конкретном устройстве, методе или системе, новый метод непосредственно обобщает изыскание на все возможные устройства, методы или системы, которые дают ответ на более обобщенный вопрос. При этом обнаружится, что задача первоначального формулирования содержания или определения проблемы является гораздо более кропотливой, чем склонны думать многие исследователи, незнакомые с новым методом. На деле в имеющейся литературе трудно найти удовлетворительные определения даже таких хорошо известных устройств, как насосы, электрогенераторы, телескопы и т.п. Точное определение кажущихся простыми устройств оборачивается трудной задачей.
2. Строгая формулировка проблемы, подлежащей разрешению, или точное определение класса изучаемых устройств автоматически раскрывает важные характерные параметры, от которых зависит решение проблемы. Например, в случае телескопов некоторыми из таких параметров являются расположение телескопа (наземный или орбитальный), характер апертуры, регистрирующее устройство, движение телескопа, и т. д. Второй шаг, таким образом, заключается в изучении всех этих важных параметров.

3. Каждый параметр  $p$  обладает определенным числом, различных независимых свойств. Например, параметр телескопа «движение» может иметь независимые свойства: перемещение в трех направлениях; круговое движение; качания при поступательных движениях и т.п.

Составляется матрица, в которой строками будут параметры, а столбцами их свойства. Приведем пример матрицы для химического реактивного двигателя, установленного на самолет:

Параметры	Свойство 1	Свойство 2	Свойство 3	Свойство 4
Источник энергии	<b>Химический</b>	Ядерный	Термоядерный	Аннигиляционный
Источник Тяги	<b>Внутренний</b>	Внешний		
Регулирование тяги	За счет собственных источников	<b>За счет посторонних источников</b>	Тяги нет	
Двигатель работает в средах:	В вакууме	<b>В воздухе</b>	В воде	Под землей
Характер движения	<b>поступательное</b>	вращательное	колебательное	
Топливо	Твердое	<b>Жидкое</b>	Газовое	
Характер импульса	<b>Непрерывный</b>	Прерывистый		

Выделим хотя бы одно свойство для каждого параметра и соединим в цепочку. Это будет соответствовать возможному техническому решению. Действительно, в примере самолетный реактивный двигатель работает, сжигая (**химическая** реакция) топливо при помощи внешнего заборного воздуха, но тяга без **внутреннего** источника не создастся. Двигатель работает **в воздухе**, создает **поступательное** движение, топливо жидкое, полет самолета **непрерывен**.

Это хорошо известное техническое решение. Попробуем изменить некоторые свойства гипотетического реактивного двигателя. Пусть регулирование тяги будет только за счет внутренних источников, и работать двигатель сможет помимо воздуха еще и в вакууме. Мы только что описали двигатель космической ракеты.

Если в условиях, соответствующих химическому ракетному двигателю, поменять характер движения на «прерывистый», мы увидим... отделяемые ступени, т.е. уже реализованное техническое решение.

Если мы изменим источник энергии на ядерный, то получим ныне проектируемое техническое решение: орбитальный буксир с электрореактивным двигателем и ядерной силовой установкой.

Замена источника энергии на аннигиляцию материи и антивещества дает пока что фантастический вариант – «фотонный» двигатель, способный разгонять космический корабль до релятивистских скоростей. Современной физике такая концепция не противоречит.

Если расширить свойства в третье измерение, мы получим «морфологический ящик». Нет препятствий для n-мерного анализа, но будут проблемы с его графическим представлением. Двухмерный вариант называют морфологической картой.

Важно, что не должен ставиться вопрос о ценности того или иного решения. Такое преждевременное предубеждение вредит беспристрастному применению морфологического метода. Но когда все решения получены, можно определиться с критерием ценности или оптимизации. Заключительный шаг состоит в выборе наиболее желательных конкретных решений и в их реализации.

Морфологическому образу мышления присуще убеждение, что все решения могут быть реализованы. Может случиться, что некоторые из множества решений окажутся тривиальными. Например, в полном согласии с анекдотом:

В патентное бюро прибегает изобретатель и воодушевленно говорит:

— Я изобрел устройство, позволяющее проходить сквозь стены!

Эксперт ему отвечает:

— Такое устройство уже давно известно и даже имеет название!

— Какое? — разочарованно спрашивает изобретатель.

— Дверь.

Морфологический метод является упорядоченным способом смотреть на вещи, позволяющим добиться систематического обзора всех возможных решений проблемы. Он создает основу для мышления в категориях основных принципов и параметров и позволяет нащупать результат, даже если мышление совершается беспорядочно или лишь применительно к частному случаю.

Морфологические карты широко используются в патентном деле, когда компании используют такой подход для того, чтобы «застолбить»

возможные будущие изобретения, патентуя в том или ином абстрактном виде комбинации основных параметров. Иногда доходит до абсурда, имели случаи патентования стеклянной бутылки.

Морфологический метод структурирует мышление таким образом, что генерируется «новая» информация (касающаяся таких комбинаций, которые при несистематической деятельности воображения ускользают от внимания); поэтому он не ограничен каким-либо одним уровнем технологии или даже задачами технологического прогнозирования вообще.

Морфологический анализ возможно применять не только для технических объектов. Его можно применять к обществу в целом и имеющимся в нем социальным проблемам.

### **Метод мозгового штурма**

Также известен как «прямая мозговая атака». Может проводиться отдельными лицами или группами. Она основана на гипотезе, что среди большого числа идей имеется, по меньшей мере, несколько хороших; это, однако, еще окончательно не доказано. Существуют следующие основные правила проведения заседания по методу «мозговых атак»:

1. Сформулировать проблему в основных терминах, выделив единственный центральный пункт.
2. Не объявлять ложной и не прекращать исследовать ни одну идею.
3. Подхватывать идею любого рода, даже если ее уместность кажется вам в данное время сомнительной.
4. Оказывать поддержку и поощрение, столь необходимые для того, чтобы освободить участников от скованности.

Мозговой штурм может повысить продуктивность мышления участников. Иначе говоря, если воздержаться от критики, идей возникает больше, чем если бы выискивали одни только «хорошие» идеи.

Прямая мозговая атака в первую очередь преследует цель собрать урожай новых идей. Разбор качества этих идей – отдельная история.

Мозговой штурм отличается оперативностью. Предварительной подготовки не требуется, знакомить участников с имеющимися решениями нецелесообразно, т.к. есть риск соскользнуть на шаблонное мышление, которое повторит уже имеющееся решение.

## **Метод фокальных объектов**

Основан на пересечении признаков случайно выбранных объектов на совершенном объекте, который лежит как бы в фокусе переноса. Последовательность применения метода фокальных объектов состоит в следующем:

1. Выбор фокальных объектов (продукта или операции).
2. Выбор 3-х и более случайных объектов наугад из словаря, каталога, книги и т.п.
3. Составление списка признаков случайных объектов.
4. Генерирование идеи путем присоединения к фокальному объекту признаков случайных объектов.
5. Развитие случайных сочетаний путем свободных ассоциаций.
6. Оценка полученных идей и отбор полезных решений. Оценка целесообразно поручить эксперту или группе экспертов, а затем совместно отобрать полезные решения.

## **Синектика**

Это метод поиска идеи путем атаки возникшей проблемы специализированными группами профессионалов с использованием ими различных аналогий и ассоциаций. Термин «синектика» в буквальном переводе с греческого означает «совмещение разнородных элементов». Метод основан на принципах мозгового штурма. Однако если обычный метод мозгового штурма проводится людьми, не обученными специальным творческим приемам, то синектика предполагает участие постоянных групп специалистов

Синектика как метод поиска идеи – это атака исследуемой проблемы специализированными группами профессиональных специалистов, инженеров, консультантов, экспертов с использованием ими различных аналогий и ассоциаций.

Применение синектики в решении инновационной проблемы включает в себя следующие этапы:

1. Ознакомление с проблемой.
2. Уточнение проблемы, что означает превращение проблемы, как она была дана, в проблему, как ее следует понимать.

3. Решение проблемы. Здесь под решением проблемы понимается взгляд на нее с какой-то новой точки зрения, так чтобы сбить психологическую инерцию.

В синектике используются следующие виды аналогий:

- прямая;
- личная;
- символическая.

*Прямая аналогия* означает, что рассматриваемый новый продукт или операция сравнивается с более или менее схожими продуктами или операциями. Например, несложное устройство «вихревая труба» имеет немало общего с «вихревой камерой».

*Личная аналогия* означает, что специалист, решающий данную проблему, моделирует образ нового продукта или операции, пытаясь выяснить, какие личные ощущения или чувства возникают у потребителя этого нового продукта. Иногда такие ощущения программируются на уровне рекламной кампании – вспоминаем слоган компании Apple: think different (думай иначе, если буквально, а если глубже, то выделяйся среди всех, что попадает в цель).

*Символическая аналогия* – это какая-либо обобщенная аналогия. Наиболее простой символической аналогией можно считать математическую модель.

Математическая модель является символической моделью. Эта модель может создать описание с помощью уравнений, неравенств, таблиц, графиков и т. д.

Синектика не является наилучшим способом искать решение, т.к. специалисты при глубоких знаниях, скорее всего, будут выдавать решения не смелые и революционные, но скорее рационализаторские предложения. Несмотря на то, что аналогии призваны раскатать инерцию мышления, она никуда не девается.

### **Стратегия семикратного поиска**

Означает, что выбор правильной идеи производится путем ее поиска последовательно по семи этапам. Отсюда и название стратегии. При поиске идеи творческий процесс делится на семь последовательных этапов.

- Первый этап – анализ имеющейся проблемы. Здесь изучается проблемная ситуация, пересматривается различная информация, ставится главная цель нововведения в данной области.
  - Второй этап – анализ характеристик имеющихся аналогов новых продуктов или операций. Здесь выявляются оптимальные условия хозяйственной ситуации для потребления инновации и определяются ее основные функции и характеристики.
  - Третий этап – формулировка общей идеи, а также задач, которые необходимо заложить в разработку инновации.
  - Четвертый этап – выбор основополагающих идей. На этом этапе генерируются возможные инновационные идеи, производится их анализ методом *эвристики*, выбираются оптимальные идеи.
  - Пятый этап – контроль идей.
  - Шестой этап – оценка выбора одной оптимальной идеи.
  - Седьмой этап – превращение выбранной идеи в инновацию.
- Собственно, кроме *эвристики*, перечисленные этапы достаточно очевидны, поэтому стоит рассмотреть ее подробнее.

## **Эвристика**

Представляет собой совокупность логических приемов и методических правил теоретического исследования и отыскания истины. Это правила и приемы решения достаточно сложных задач. Конечно, эвристика менее определена, чем математические расчеты, но она дает возможность получить вполне определенное осмысленное и часто неочевидное решение. Наиболее известным сборником эвристических приемов является *теория решения изобретательских задач (ТРИЗ)*, она же *алгоритмы решения изобретательских задач (АРИЗ)*.

## **Теория и алгоритм решения изобретательских задач**

Теория решения изобретательских задач (ТРИЗ) представляет собой усовершенствованный алгоритм решения изобретательских задач (АРИЗ), разработанный инженером Г.С. Альтшуллером в конце 1940-х годов.

Алгоритм решения изобретательских задач состоит из 9 этапов, каждый из которых содержит несколько последовательных шагов, регламентированных конкретными правилами и рекомендациями:



1. Анализ задачи.
2. Анализ модели задачи.
3. Определение идеального конечного результата или кризисного решения и физического противоречия .
4. Мобилизация и применение вещественно-полевых ресурсов.
5. Применение информационного фонда.
6. Изменение и/или замена задачи.
7. Анализ способа устранения физического противоречия.
8. Применение полученного ответа.
9. Анализ хода решения.

1. Анализ задачи – это переход от расплывчатой изобретательской ситуации к четко построенной и предельно простой схеме (модели) задачи. На этом этапе определяется конечная цель задачи, проверяется возможность и целесообразность ее решения обходными путями, выявляются требуемые характеристики с поправкой на время, размеры и стоимость, изучается патентная информация.

2. Анализ модели задачи подразумевает учет имеющихся ресурсов, которые можно использовать при решении задачи: *ресурсов пространства, времени, веществ и полей*.

*Ресурс пространства* – это оперативная зона, то есть пространство, в пределах которого возникает конфликт, указанный в модели задачи.

*Ресурс времени* – это оперативное время, то есть имеющиеся ресурсы времени: время до конфликта и конфликтное время.

*Вещественно-полевые ресурсы* – это вещества и поля, которые уже имеются или могут быть легко получены по условиям задачи. Вещественно-полевые ресурсы бывают *внутрисистемные* (инструменты, изделия и т.п.), *внешнесистемные* (среда, магнитные поля и т.п.), *надсистемные* (отходы, очень дешевые посторонние элементы, стоимостью которых можно пренебречь).

3. Определение конечного результата подразумевает уточнение условий, выявление возможности видоизменения задачи путем изменения требуемых характеристик. Здесь же выбираются те элементы, которые можно легко перестроить и заменить.

Здесь выявляется физическое противоречие, мешающего достижению идеального конечного результата.

4. Устранение физического противоречия. Этот этап включает планомерные операции по увеличению вещественно-полевых ресурсов.

Во многих случаях четвертый этап приводит к решению задачи, и тогда можно сразу же перейти к седьмому этапу. Если же этого не происходит, то надо пройти пятый и шестой этапы.

5. Использование опыта, сконцентрированного в информационном фонде ТРИЗ. Этот фонд может включать стандарты, описание приемов, результаты опытов, описание разных явлений и т.п.

6. Оценка найденного решения и развитие полученного ответа. Простые задачи решаются преодолением физического противоречия, например разделение противоречивых свойств во времени и в пространстве. Сложные задачи решаются путем изменения смысла задачи: снятием первоначальных ограничений, обусловленных психологической инерцией и до решения кажущихся самоочевидными. Для правильного понимания задачи сначала надо ее решить, так как изобретательские задачи не могут быть сразу поставлены точно. Процесс решения задачи, по существу, есть процесс корректировки задачи. Более подробно процесс устранения противоречий описан в разделе 2.2.

7. Анализ хода решения и проверка качества полученного ответа, сравнение фактический ход решения с теоретическим, установленным в ТРИЗ. Физическое противоречие должно быть устранено почти идеально («без ничего»). При решении технических задач ТРИЗ используют созданный информационный фонд, включающий стандарты, описание приемов, физических эффектов и явлений. Составляется список из укрупненных приемов преодоления типовых противоречий, а именно: принципы «дробления», «асимметрии», «матрешки», «антивеса», «наоборот», «обратить вред в пользу», «заранее подложенной подушки» и др.

8. Нахождение универсального ключа решения ко многим другим аналогичным задачам.

9. Повышение творческого потенциала человека. Анализ производится методом сравнения реального хода решения данной задачи с теоретическим и сравнения полученного ответа с данными информационного фонда ТРИЗ и т.п. Такой анализ дает возможность наметить пути планомерного нахождения физических эффектов, необходимых для решения задачи.

Основой теории решения изобретательских задач являются законы развития технических систем, полученные путем анализа большого количества патентов.

В основу АРИЗ положен закон появления и разрешения противоречий. Техническое противоречие – это ситуация, когда попытка

улучшить одну характеристику системы приводит к ухудшению другой. Физическое противоречие – это ситуация, когда к одному объекту применяются противоположные требования.

Алгоритм изобретения позволяет значительно быстрее разрешить технические и физические противоречия по сравнению с методом проб и ошибок.

## Способы устранения технических противоречий

### Дробление

1. Разделить объект на независимые (однородные) части.
2. Выполнить объект разборным.
3. Увеличить степень дробления (измельчения) объекта.

Примеры:

«Инструмент для упрочняющей обработки внутренних цилиндрических поверхностей по а.с. №645825, отличающийся тем, что, с целью повышения качества обработки, скосы на вкладыше и оправке выполнены ступенчатыми» (а.с. №854696).

Токарные резцы могут быть выполнены как сплошное тело (рис. 6.1).

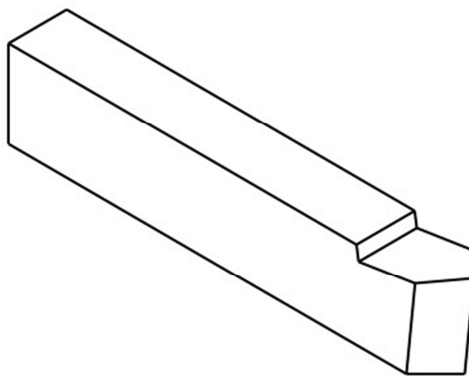


Рис. 6.1. Резец отрезной (<http://gk-drawing.ru>)

При износе приходится выбрасывать инструмент целиком, хотя истачивается очень небольшая часть резца. Если вместо режущей кромки использовать сменную пластину (рис. 6.2), получается существенная

экономия и открывается больше возможностей: можно выбирать пластины различных производителей, оптимизируя либо по цене, либо по качеству.

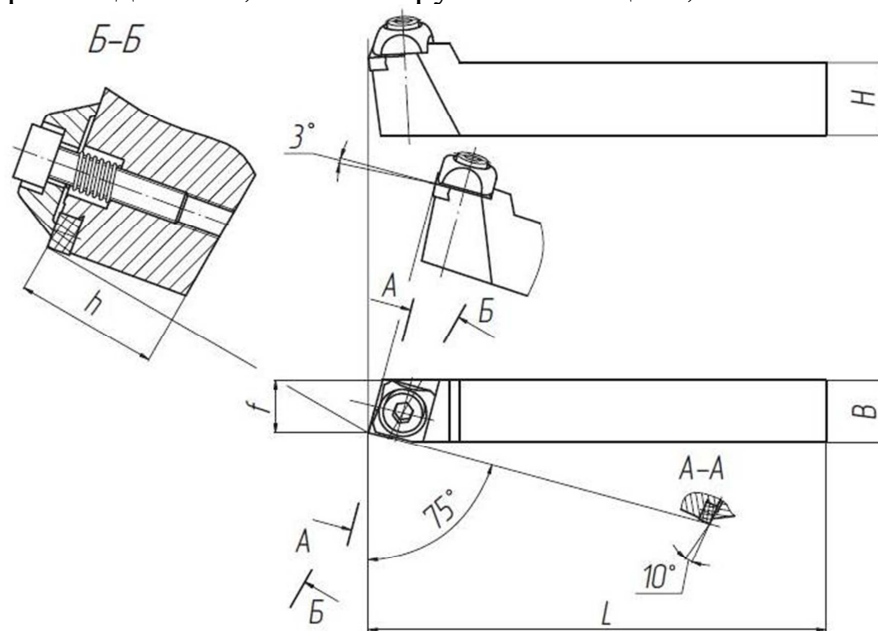


Рис. 6.2. Проходной резец со сменной пластиной (<http://www.bs11.ru>)

## Вынесение

Отделить от объекта «мешающую» часть («мешающее» свойство) или, наоборот, выделить единственную нужную часть (нужное свойство).

Примеры:

Раньше тяжелое и громоздкое снаряжение горноспасателя помещалось в ранце, закрепляемом на спине. С целью уменьшения массы газотеплозащитного костюма, увеличения маневренности горноспасателя и общей холодопроизводительности оборудования предложено последнее размещать в отдельном контейнере, соединенном с костюмом при помощи шланга (а.с. №257301). Контейнер (чемодан) можно поставить на землю.

Чтобы при рентгенографии легких избежать облучения других органов предложена диафрагма, выделяющая из потока лучей только ту часть, которая соответствует форме легких (а.с. №187933).

## Асимметрия

1. Перейти от симметричной формы объекта к асимметричной.

2. Если объект уже асимметричен, увеличить степень асимметрии.

### **Объединение**

1. Соединить однородные или предназначенные для смежной операции объекты.

2. Объединить во времени однородные или смежные операции.

Примеры:

Прием совмещения функций – изобретен автомобильный кузов, в котором во время транспортировки просушивается и очищается зерно. Делается это с помощью встроенных в днище шнеков (а.с. №846344).

Прием разделения функций – спаренный велосипед (а.с. №846371) управляется с помощью одного руля, поэтому один из велосипедистов может лишь крутить педали, а следить за дорогой будет другой.

Оснащение станков – обрабатывающих центров комплектом различных формообразующих инструментов также основано на этом принципе.

### **Универсальность**

Объект выполняет несколько разных функций, благодаря чему отпадает необходимость в других объектах.

Примеры: токарно-фрезерные автоматы дают возможность выполнять подавляющее большинство типовых операций механической обработки.

### **«Матрешка»**

1. Один объект размещен внутри другого, который, в свою очередь, находится внутри третьего и т.д.

2. Один объект проходит сквозь полость в другом объекте.

Примеры.

Устройство для подачи смазывающе-охлаждающей жидкости (СОЖ) через поры шлифовального круга, включающее воронку и патрубок, отличающееся тем, что, с целью повышения надежности устройства путем устранения дисбаланса круга, воронка выполнена из установленных одно в другом колец тарельчатой формы из синтетического материала, при этом внутреннее кольцо выполнено с внутренними ребрами» (а.с. №850366).

«Способ абразивной обработки, при котором СОТС (смазывающе-охлаждающее технологическое средство) подают в зону резания свободно падающей струёй, отличающийся тем, что, с целью повышения стойкости шлифовального круга, в зону резания дополнительно подают струю газа, которую располагают центрально в струе СОТС».

«Ультразвуковая головка, содержащая преобразователь с концентратором, установленные в корпусе, рабочий инструмент и фланец для крепления головки со станком, отличающаяся тем, что, с целью повышения точности обработки, головка снабжена направляющим устройством, выполненным в виде двух цилиндров, установленных один другом с возможностью относительного перемещения, при этом наружный цилиндр установлен неподвижно, а внутренний цилиндр жестко соединен с корпусом головки» (а.с. №872203).

## **Антидействие**

Если по условиям задачи необходимо совершить какое-то действие, надо заранее совершить противоположное действие.

Примеры:

«Способ резания чашечным резцом, вращающимся вокруг своей геометрической оси в процессе резания, отличающийся тем, что с целью предотвращения возникновения вибрации чашечный резец предварительно нагружают усилиями, близкими по величине и выправленными противоположно усилиям, возникающим в процессе резания» (а.с. №536866).

С целью уменьшения коробления композиционного материала последний при изготовлении и сушке изгибают в сторону, противоположную приклеиваемому покровному слою (а.с. №241290).

Если при навивке пружины одновременно закручивать вокруг своей оси и проволоку, то полученная таким образом предварительно напряженная пружина «двойной» закрутки по своим механическим

показателям намного превосходит изготовленные обычным способом (а.с. №316509).

Останкинская телебашня под ветровой нагрузкой испытывает изгиб, при этом с наветренной стороны возникают растягивающие напряжения, а с подветренной – сжимающие. Бетон плохо выдерживает растягивающие напряжения. Поэтому при строительстве башня была сжата тросами, пропущенными через нее и уходящими к силовым механизмам подвала.

### **«Наоборот»**

1. Вместо действия, диктуемого условиями задачи, осуществить обратное действие.

2. Сделать движущуюся часть объекта или внешней среды неподвижной, а неподвижную – движущейся.

3. Перевернуть объект «вверх ногами», вывернуть его.

Примеры.

Процесс вибрационной очистки металлических изделий в абразивной среде упрощается, если вибрационное движение сообщить не среде, а обрабатываемой детали (а.с. №184649).

«Способ обработки твердых материалов по а.с. №931387, отличающийся тем, что, с целью повышения качества обработки поверхности и износостойкости шлифовальных кругов, на этапе выхаживания изменяют направления вращения шлифовального круга и планшайбы с пластинами на противоположные тем, которые были на этапе шлифования» (а.с. №1256928).

«Способ электрохимической обработки в тонкостенных заготовках, при котором обрабатываемую заготовку размещают между двумя трафаретами, имеющими зеркальное отображение один относительно другого, и процесс обработки осуществляют одновременно с двух сторон с прокачкой электролита, отличающийся тем, что, с целью повышения производительности и точности обработки путем обеспечения одинакового времени прошивки отверстий на всем протяжении заготовки, прокачку электролита вдоль каждой обрабатываемой стороны заготовки производят в противоположных направлениях» (а.с. №1484502).

### **Переход в другое измерение**

1. Трудности, связанные с движением (или размещением) объекта по линии, устраняются, если объект приобретает возможность перемещаться на плоскости. Трудности, связанные с движением (или размещением) объектов в одной плоскости, устраняются при переходе к пространству трех измерений.

2. Использовать многоэтажную компоновку объектов вместо одноэтажной.

3. Наклонить объект или положить его «набок».

4. Использовать обратную сторону данной площади.

5. Использовать оптические потоки, падающие на соседнюю площадь или на обратную сторону имеющейся площади.

Примеры:

«Способ шлифования, при котором кругу сообщают вращение и радиальную подачу, а деталь сжимают в направлении плоскости вращения круга и сообщают поступательное перемещение, отличающийся тем, что с целью повышения качества обработки, деталь дополнительно сжимают в плоскости, перпендикулярной действию указанной сжимающей нагрузки...» (а.с. №1449325).

Все транспортные развязки и виадукы.

## **Периодическое действие**

1. Перейти от непрерывного действия к периодическому (импульсному).

2. Если действие уже осуществляется периодически, изменить периодичность.

3. Использовать паузы между импульсами для действия.

Примеры.

«Способ автоматического управления термическим циклом контактной точечной сварки, преимущественно деталей малых толщин, основанный на измерении термо-э.д.с., отличающийся тем, что с целью повышения точности управления при сварке импульсами повышенной частоты измеряют термо-э.д.с. в паузах между импульсами сварочного тока» (а.с. №336120).

«Способ шлифования многоступенчатых деталей, при котором шлифование всех ступеней детали производят одновременно несколькими



соотношением установленных шлифовальными кругами, имеющими диаметры, перепады которых соответствуют перепадам обрабатываемых ступеней детали, отличающийся тем, что, с целью повышения точности обрабатываемых ступеней детали, применяют шлифовальные круги с прерывистыми рабочими поверхностями, при этом отношение длины рабочей поверхности шлифовального круга к длине взаимодействующей с ней поверхностей обрабатываемой ступени постоянно» (а.с. №795889).

### **«Обратить вред в пользу»**

1. Использовать вредные факторы (в частности, вредное воздействие среды) для получения положительного эффекта.
2. Устранить вредный фактор за счет сложения с другими вредными факторами.
3. Усилить вредный фактор до такой степени, чтобы он перестал быть вредным.

#### **Примеры.**

При сварке металлов нагревается стол, сборочное приспособление и даже колпак вытяжного устройства. Предложено (патент Германии №2946491) встраивать в стол и колпак трубы теплообменников, чтобы в них нагревать воду для бытовых нужд.

Любая теплоэлектроцентраль (ТЭЦ). Тепло, генерируемое при сжигании топлива, вместо сброса в атмосферу, используется в теплосетях ближайшего поселка или города.

Печка в автомобиле с ДВС. Двигатель все равно греется и разумно воспользоваться уже выделенным теплом для обогрева салона.

### **Обратная связь**

1. Ввести обратную связь.
2. Если обратная связь есть, изменить ее.

#### **Примеры.**

«Способ шлифования плоских поверхностей, включающий в себя быстрый подвод шлифовального круга, черновое и чистовое снятие припуска, а также выхаживание, отличающийся тем, что, с целью повышения точности обработки, в процессе выхаживания замеряют

величину деформации детали и периодически подают шлифовальный круг на глубину, равную измеренной величине деформации» (а.с. №948626).

## **Копирование**

1. Вместо недоступного, сложного, дорогостоящего, неудобного или хрупкого объекта использовать его упрощенные и дешевые копии.

2. Заменить объект или систему объектов их оптическими копиями (изображениями). Использовать при этом изменение, масштаба (увеличить или уменьшить копии).

3. Если используются видимые оптические копии, перейти к копиям инфракрасным или ультрафиолетовым.

### **Примеры.**

Одноразовая посуда (и любые другие одноразовые изделия). Их преимущество – они настолько дешевы, что легче воспользоваться один раз и выбросить, чем обслуживать (мыть, кипятить) многоразовое приспособление.

Электронные версии книг (оптические изображения, информация никуда не девается). Кроме того, у цифровой копии, в отличие от «твердой», появляется возможность неограниченного копирования.

## **Отброс и регенерация частей**

1. Выполнившая свое назначение или ставшая ненужной часть объекта должна быть отброшена или видоизменена непосредственно в ходе работы.

2. Расходуемые части объекта должны быть восстановлены непосредственно в ходе работы.

### **Примеры.**

Тонер-картриджи для принтеров. Содержат в себе все элементы, подверженные повышенному износу и легко могут быть заменены.

Система непрерывной подачи чернил для струйных принтеров наоборот, восстанавливает слишком быстро расходуемый ресурс.

«Способ исследования высокотемпературных зон, преимущественно сварочных процессов, при котором в исследуемую зону вводят зонд-световод, отличаются тем, что с целью возможности исследования высокотемпературных зон при дуговой и электрошлаковой сварке

используют плавящийся зонд-световод, который непрерывно подают в исследуемую зону со скоростью не менее скорости его плавления» (а.с. №433397).

«Винтовые микропружины навивают на оправку из эластичного материала, которую затем удаляют, погружая вместе с пружиной в состав, растворяющий эластичный материал» (а.с. №222322).

## **Идеальное техническое решение**

Один из основных законов развития технических систем, сформулированных основоположником ТРИЗ Г.С. Альтшуллером и его последователями – закон увеличения степени идеальности системы.

Техническая система в своем развитии приближается к идеальности. «Идеальная техническая система – это система, вес, объем и площадь которой стремятся к нулю, хотя ее способность выполнять работу при этом не уменьшается. Иначе говоря, идеальная система – это когда системы нет, а функция ее сохраняется и выполняется» [6]. Достигнув идеала, система должна исчезнуть, а ее функция должна продолжать выполняться.

На практике идеальная система недостижима, но она показывает направление, в котором следует совершенствовать объект.

К показателям идеальности можно отнести:

- результативность (насколько хорошо выполняется функция);
- габариты;
- масса;
- совершенство механической схемы;
- совершенство энергетической схемы;
- удобство технического обслуживания;
- удобство регулировок при эксплуатации;
- степень модульности компонентов;
- удобство сборки и наладки;
- удобство разборки и замены изнашиваемых элементов;
- стоимость изготовления;
- стоимость утилизации.
- возможность получения дополнительной выгоды.

Рассмотрим близкий всем пример почти идеального технического решения: пластиковую бутылку:

- насколько хорошо выполняется функция: идеально. Хранит воду или другую жидкость, другого от нее не требуется;
- габариты: почти идеально, по заказу. Если мы выбрали слишком большой или слишком малый объем, бутылка не при чем. Бутылка переменного объема возможна, но жидкость переменного объема?;
- масса: на 99% идеально, ничтожно мала в сравнении с ближайшими аналогами, стеклянными бутылками;
- совершенство механической схемы: почти идеально. Если бы еще крышечки не терялись...;
- совершенство энергетической схемы: идеально, энергия для работы не требуется;
- удобство технического обслуживания: идеально, техобслуживание не нужно или минимально (помыть);
- удобство регулировок при эксплуатации: идеально, регулировок нет;
- степень модульности компонентов: идеально. К бутылке подойдет крышечка от любой другой (в рамках класса) любого объема.
- удобство разборки и замены изнашиваемых элементов: идеально, замена не требуется, легче обзавестись новой;
- стоимость изготовления: идеально, при массовом производстве ничтожно мала;
- стоимость утилизации: идеально, возможна переработка.
- возможность получения дополнительной выгоды: в бутылке можно не только хранить воду, но использовать как вазу, как декоративный элемент, как пульверизатор, как воронку для перелива жидкостей.

Рассмотрим более сложное изделие, электродвигатель. Это устройство нельзя назвать идеальным техническим решением, но оно очень близко к нему.

- насколько хорошо выполняется функция: идеально. Преобразует электрическую энергию в механическое вращательное движение;
- габариты: почти идеально, пропорционально мощности.
- масса: практически идеально в современных технических условиях:
  - совершенство механической схемы: идеально. Прямое воплощение теоретических построений электродинамики.
  - совершенство энергетической схемы: КПД = 98%, теоретический предел близок, пути повышения просматриваются (убрать сопротивление в обмотках);

- удобство технического обслуживания: близко к идеалу;
- удобство регулировок при эксплуатации: зависит от конструкции;
- степень модульности компонентов: модульность, как правило, не предусматривается, но она и не нужна.
- удобство разборки и замены изнашиваемых элементов: зависит от конструкции;
- стоимость изготовления: не идеально;
- стоимость утилизации: идеально, возможна переработка.
- возможность получения дополнительной выгоды: электродвигатель может работать в режиме генератора. За счет возможности масштабирования возможно применение нескольких двигателей вместо одного большого (например, мотор-колес вместо ДВС).

## **Заключение**

Машиностроение было, есть и будет отраслью хозяйства, которая определяет развитие научно-технического процесса в других отраслях. Основные задачи машиностроения – это повышение качества машин и оборудования, а также повышение производительности труда на предприятиях, в частности, с помощью автоматизации. Организация работы на основе современных средств производства, внедрение передовой технологии и прогрессивной технологической оснастки способствуют поддержанию конкурентоспособности продукции, увеличению прибавочной стоимости и нормы прибыли, а значит, сохранению существующих и созданию новых рабочих мест для высококвалифицированного персонала, который имеет возможность получать достойную оплату за свой труд.

От развития машиностроения зависит место страны среди прочих государств, обладающих высокотехнологичной промышленностью и производящих продукцию, конкурентоспособную на мировых рынках. В обозримом будущем развитое машиностроение способно стать драйвером перехода на качественно новый уровень развития, новый хозяйственный уклад.

## Список использованной литературы

1. Акаев А.А. и др. Кондратьевские волны: Аспекты и перспективы / Волгоград: Учитель, 2012. – 383 с.
2. Информационно-вычислительные системы в машиностроении. CALS-технологии / Ю.М. Соломенцев, В.Г. Митрофанов, В.В. Павлов, Л.В. Рыбаков. - М.: Наука, 2003. - 292 с.
3. Вздорова Л.П. Шестой технологический уклад: последний цикл Кондратьева // Инновации в науке: сб. ст. по матер. LV междунар. науч.-практ. конф. № 3(52). Часть II. – Новосибирск: СибАК, 2016. – С. 140-148.
4. Ковшов А. Н. Технология машиностроения. — М.: Машиностроение, 1987. — 320 с.
5. Кондаков А.И. САПР технологических процессов. Учебник. — М.: Издательский центр «Академия», 2007. — 272 с.
6. Липская В.К. Методика выбора рационального варианта технического решения при проектировании, совершенствовании и модернизации зерноуборочных комбайнов // Вестник ГГТУ им. П.О. Сухого. 2015. №3 (62).
7. Машиностроение: Энциклопедия: В 40 т. М.: Машиностроение, 1994.
8. Методология инженерного поиска: Учебное пособие /И. Брусов, Ю.С. Степанов, А.С. Тарапанов, Г.А. Харламов, под ред. Г.А. Харламова. М.: Машиностроение, 2005. - 216 с.
9. Никифоров А.Д. Современные проблемы науки в области технологии машиностроения. М.: Высшая школа, 2006. - 392 с.
10. Прогрессивные машиностроительные технологии : монография / А.Н. Афонин, (...), Ю.Н. Платонова, Л.А. Рыбак, В.А. Санинский, Е.В. Смоленцев, Н.А. Сторчак, (...), Ю.Л. Чигиринский. - М. : ИД "Спектр", 2012. - Т. I. - 333 с.
11. Санинский, В.А. Методология прогнозирования границ ликвационного квадрата в заготовках деталей машин: монография / В.А. Санинский; ВПИ (филиал) ВолгГТУ. - Волгоград: РПК "Политехник", 2005. - 122 с.
12. Санинский, В.А. Повышение качества механической обработки соосных поверхностей деталей многоопорных подшипниковых узлов: монография / В.А. Санинский; ВПИ (филиал) ВолгГТУ. - Волгоград: РПК "Политехник", 2003. - 186 с.

13. Суслов. А.Г., Дальский А.М. Научные основы технологии машиностроения. М: Машиностроение, 2006. - 684 с.
14. Труханов В.М. Надежность сложных технических систем типа подвижных установок. М.: Машиностроение, 2005. - 444 с.
15. Чертежная документация. Сайт. URL: <http://gk-drawing.ru> (дата обращения 1.11.2020)
16. Энциклопедия Технологи России (машиностроение). - Т.1 / А.Г. Суслов, В.И. Бушуев, В.А. Гречишников, В.П. Смоленцев. - М.: Машиностроение-1, 2006. - 412 с.
17. BS Group. Сайт. URL: <http://www.bs11.ru> (дата обращения: 1.11.2020)



Электронное учебное издание

Константин Валентинович **Худяков**

**Современные проблемы науки в машиностроении. Курс лекций**

*Учебное пособие*

*Электронное издание сетевого распространения*

Редактор Н.И. Матвеева

Темлан 2021 г. Поз. № 30.

Подписано к использованию 21.02.2021. Формат 60x84 1/16.

Гарнитура Times. Усл. печ. л. 4,06.

Волгоградский государственный технический университет.  
400005, г. Волгоград, пр. Ленина, 28, корп. 1.

ВПИ (филиал) ВолГТУ.  
404121, г. Волжский, ул. Энгельса, 42а.