

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Локтионова Оксана Геннадьевна  
Должность: проректор по учебной работе  
Дата подписания: 29.07.2024 00:54:08  
Уникальный программный ключ:  
0b817ca911e6668abb13a50426d39e5f1c11eabb75e943df4a4851fda36d089

**МИНОБРАЗОВАНИЯ РОССИИ**  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Юго-Западный государственный университет»  
(ЮЗГУ)

Кафедра «Космического приборостроения и систем связи»

УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по учебной работе  
О.Г. Локтионова  
« 15 » 07 2024 г.



**СИНТЕЗ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ КОНЦЕПТУАЛЬНЫХ  
РЕШЕНИЙ, ФОРМУЛИРОВКА ТЕХНИЧЕСКОГО ЗАДАНИЯ  
И ТЕХНИЧЕСКОГО ПРЕДЛОЖЕНИЯ**

Методические указания  
к практическому занятию для студентов, обучающихся по  
направлению 11.03.03 Конструирование и технология электронных  
средств (бакалавриат)

УДК 621:001 (07)

Составитель: В.Э. Дрейзин

Рецензент

доктор технических наук, старший научный сотрудник,  
профессор кафедры космического приборостроения и систем связи  
*В. Г. Андронов*

**Синтез альтернативных концептуальных решений, формулировка технического задания и технического предложения:** методические указания к практическому занятию для студентов, обучающихся по направлению 11.03.03 Конструирование и технология электронных средств (бакалавриат) / Юго-Западный гос. ун-т; сост. В.Э. Дрейзин – Курск, 2021. – 12 с.: –. Библиогр.: с. 12.

Методические указания к практическому занятию содержат описание заключительных предпроектных этапов разработки новых технических объектов: синтез альтернативных концептуальных решений технической задачи и формулировки технического задания на проектирование нового технического объекта и технического предложения. Рассмотрены основные методы синтеза альтернативных концептуальных решений технических задач, критерии выбора из них наилучшего решения, содержание технического задания на проектирование нового технического объекта и, при необходимости, технического предложения. Даются методические рекомендации по выполнению этих этапов.

Кроме того, методические указания содержат вопросы для самопроверки.

Методические указания соответствуют рабочей программе дисциплины «Методы инженерного творчества».

Методические указания предназначены для студентов, обучающихся по направлению 11.03.03 Конструирование и технология электронных средств (бакалавриат).

Текст печатается в авторской редакции

Подписано печать 15.03.24. Формат 60x84/16.

Усл. печ. л. 0,69. Уч.-изд. 0,63. Тираж 100 экз. Заказ 485. Бесплатно.

Юго-Западный государственный университет.  
305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94

## Содержание

1. Проведение аналитического литературного и патентного обзора.....	4
2. Выбор целей и критериев разработки .....	6
3. Развёрнутая формулировка технической задачи .....	11
4. Вопросы для самопроверки .....	12
5. Темы для подготовки докладов .....	12
Литература .....	12



# 1. Синтез альтернативных концептуальных решений

## 1.1. Общая характеристика данного этапа

В какой-то мере данный этап должен начинаться уже при поиске и анализе аналогов. Фактически, отбор аналогов уже представляет собой выбор возможных решений данной технической задачи. Однако, если на этом решение задачи не закончилось, то, очевидно, что ни один из найденных аналогов не удовлетворяет полностью всем предъявляемым требованиям. Далее, при детализации целей и критериев решения задачи также приходится опираться на определённую физическую систему, пусть ещё и недостаточно конкретную, но, тем не менее, также представляющую собой концептуальное решение данной задачи, скорее всего опирающееся на один из найденных аналогов. Однако на этих этапах предполагаемое решение задачи не описывалось (описывались и анализировались лишь найденные аналоги). В то же время, для составления технического задания на проектирование объекта необходимо чётко определить все технические характеристики и технико-экономические показатели будущего объекта, а для этого необходимо уже более чётко представлять себе его структуру и физическую реализацию. Поэтому, прежде чем переходить к формулировке технического задания, необходимо, хотя бы в концептуальной форме, описать ту физическую систему, на базе которой предполагается решить поставленную техническую задачу. Естественно, что возможных путей решения задачи может быть несколько, и умозрительно оценить их достоинства и недостатки и выбрать наиболее перспективный из них бывает весьма сложно. Поэтому, на данном этапе желательно синтезировать несколько, по возможности, наиболее разнообразных концептуальных решений, проработать их до такой степени детальности, которая позволила бы оценить достижимые технические показатели, способность удовлетворить всем предъявляемым требованиям и ограничениям, а также сложность реализации каждого варианта и, на основе их сравнительного анализа, проводимого с помощью разработанной на предыдущем этапе системы целей и критериев, выбрать наиболее перспективный вариант.

Именно на этом этапе осуществляется генерация новых идей, поиск новых технических решений. Эффективность и результаты этого процесса в огромной степени зависят от творческого потенциала разработчика, его эрудиции, опыта, технической интуиции и навыков решения творческих задач. До появления теории решения изобретательских задач (ТРИЗ) каждый разработчик приобретал эти навыки только на основе собственного опыта, и потому процесс формирования хорошего творческого специалиста, способного



решать новые технические задачи на высоком уровне, растягивался на долгие годы. Овладение теорией решения технических задач, включая и методы ТРИЗ, позволяет существенно сократить это время и в сжатые сроки находить нетривиальные и высокоэффективные решения возникающих технических задач.

Методы синтеза технических решений колеблются от высокоформализованных до чисто интуитивных. Так, например, синтез цифрового автомата, выполняющего заданные логические функции, – полностью формализованная логическая процедура, выполняемая на основе алгебры логики. Поэтому с такими задачами может вполне справляться соответствующим образом запрограммированная ЭВМ. Именно для решения подобных задач, а также для выполнения рутинных процедур проектирования разрабатываются программные комплексы САПР (системы автоматизированного проектирования). Они гораздо быстрее и эффективнее человека справляются с решением таких хорошо формализованных задач. Однако, на этапе синтеза концептуальных решений такие хорошо формализуемые задачи встречаются весьма редко. Поэтому приходится использовать другие методы, среди которых наиболее широко применяются тривиальный и малоэффективный метод проб и ошибок, более эффективный, но редко приводящий к получению нетривиальных высокоэффективных решений, метод улучшения прототипа и наиболее широко применяемый при создании сложных объектов и систем метод функционального проектирования. С последнего мы и начнём.

## 1.2. Метод функционального проектирования

Метод функционального проектирования состоит в следующем:

1. Сначала детально анализируются все функции, которые должна выполнять проектируемая система; определяются накладываемые на неё ограничения (касающиеся функционирования, а не реализации системы) и необходимые информационные (сигнальные) входы и выходы.

2. Все функции разбиваются на группы (блоки) тесно связанных между собой функций, для выполнения которых в системе выделяются отдельные функциональные подсистемы и функциональные блоки, и указываются функциональные связи между ними. Выделенные подсистемы, функциональные блоки и связи между ними изображаются в виде графа, в результате чего система представляется в виде укрупненной структурно-функциональной схемы.

3. Далее определяется, какие из этих функций и их блоков должны быть реализованы аппаратно, а какие целесообразнее реализовать программно.

но. Это позволяет уже построить укрупнённую структурную схему системы и решить вопрос о её структурной организации (в частности, целесообразности использования унифицированных узлов и блоков – ЭВМ, промышленных контроллеров, встраиваемых микропроцессорных систем и т. п.). Одновременно разрабатывается общий алгоритм функционирования системы.

Указанных трёх этапов обычно бывает уже достаточно для описания концептуального решения. При этом должно выполняться лишь требование принципиальной осуществимости данной системы. О конкретной её реализации речь пока не идёт. Более детальное проектирование осуществляется на последующих этапах проектирования. Тогда уже будут выбраны конкретные комплектующие блоки и узлы, выделены нестандартные блоки, в результате чего будут внесены необходимые изменения в структурную схему. А далее уже проводится детальное проектирование нестандартных блоков и узлов и ведётся разработка необходимого программного обеспечения системы.

Как видим, метод функционального проектирования базируется на функциональной декомпозиции системы и последующего синтеза её структуры с максимальным использованием унифицированных решений по реализации отдельных функциональных подсистем и блоков. Это, с одной стороны, повышает эффективность и ускоряет процесс проектирования, но, с другой стороны, уменьшает вероятность отыскания нетривиальных высокоэффективных технических решений.

### 1.3. Метод улучшения прототипа

Метод улучшения прототипа широко применяется в электронной схемотехнике, проектировании автономных приборов и устройств и небольших систем. Он непосредственно опирается на отобранные в результате выполнения информационного и патентного поиска технические решения. На основе сравнительного анализа их достоинств и недостатков из них выбирается решение, в максимальной степени удовлетворяющее предъявляемым требованиям (прототип), и далее проводится его детальный анализ, цель которого состоит в выявлении причин присущих ему недостатков. Суть рассматриваемого метода состоит в устранении выявленных недостатков прототипа и порождающих их причин. Это рекомендуется делать в следующей последовательности:

- определить, какие ещё надо ввести функции и реализующие их элементы, чтобы устранить недостатки прототипа или улучшить его какие-либо характеристики;



- определить, какие элементы можно исключить из прототипа без ухудшения его характеристик применительно к конкретным целям и условиям его применения (имея в виду, что цели и условия, для которых создавался прототип, вряд ли полностью совпадают с целями и условиями данной задачи);

- определить, можно ли исключить некоторые элементы, передав их функции другим остающимся элементам (объединение элементов и совмещение их функций);

- определить, какие из элементов прототипа, выполняющих одновременно несколько функций, целесообразно разделить на несколько отдельных элементов (разделение элементов по функциям).

И, наконец, очень полезным является анализ возможности реализации функций разрабатываемой системы без самой системы. На первый взгляд такое решение кажется парадоксальным. Однако в ряде случаев такая возможность существует, и такое решение оказывается наиболее эффективным. Дело в том, что практически любую техническую систему можно рассматривать как подсистему более сложной системы верхнего иерархического уровня. Это и позволяет попытаться передать функции проектируемой системы элементам этой более сложной системы. Тогда вместо проектирования новой системы достаточно будет модернизировать уже существующую надсистему, введя в неё дополнительные функции. Такой анализ рекомендуется проводить в следующей последовательности:

- выделить вышестоящую по иерархии систему (надсистему), в которую в качестве одной из составляющих её подсистем входит проектируемый объект;

- описать функции надсистемы и всех составляющих её подсистем (включая проектируемый объект);

- выяснить можно ли передать функции проектируемого объекта элементам надсистемы или смежных подсистем, входящих в неё; что мешает этим изменениям надсистемы и смежных объектов и нельзя ли устранить мешающие факторы;

- провести технико-экономическое сравнение первоначальной постановки задачи с задачей внесения изменений в надсистему и смежные объекты. Если последняя постановка задачи более эффективна, то следует заменить ей первоначальную задачу и решать именно её.

Фактически, именно поиску концептуальных решений технических задач посвящена теория решения изобретательских задач, поскольку решения изобретательских задач чаще всего получают именно на концептуальном уровне (достаточным условием возможности получения патента на изобре-



ние является доказательство технической реализуемости предлагаемого решения, конечно, при соблюдении главного условия – новизны предлагаемого решения). Следовательно, подавляющее большинство изобретений делается именно на этапе синтеза альтернативных концептуальных решений, а разработанные в ТРИЗ методы решения изобретательских задач дают наиболее интересные, нетривиальные и эффективные решения.

## 2. Выбор наилучшего решения из возможных альтернативных

После того, как получено несколько альтернативных решений задачи, необходимо выбрать из них наиболее перспективное для дальнейшей проработки и детализации. Для этого используется как раз та система целей и критериев, которая была получена в п. 4.3.2, а также те требования и ограничения, которые были выработаны при уяснении задачи (п. 4.3.1). Однако, здесь нас подстерегают две трудности. Во-первых, на стадии концептуальных решений ещё очень сложно достоверно оценить достижимые количественные значения основных показателей качества будущего объекта, поскольку мы имеем лишь принципиальные решения без их технической проработки. Во-вторых, даже имея количественные значения основных показателей качества различных вариантов решений, выбрать из них наилучший непросто. Весьма редко встречаются ситуации, когда одно из альтернативных решений по всем показателям превосходит все остальные. Гораздо чаще по одним показателям лучше одни решения, по другим – другие. Эту вторую трудность обычно обходят двумя путями. Первый из них заключается в том, что выбор лучшего варианта осуществляется по одному, самому важному показателю (в п. 4.3.2 все они должны быть ранжированы по степени важности), а все остальные показатели выступают как ограничения, т. е. для них определяются критические значения, хуже которых они не должны быть. Тогда выбор становится однозначным. Второй путь заключается в синтезе единого комплексного показателя качества, в который каждый из конкретных частных показателей входит со своим весовым коэффициентом, отражающим степень важности данного показателя. Если все частные показатели можно считать аддитивными, то комплексный показатель можно подсчитать по следующей формуле:

$$Q = \frac{\sum_{i=1}^n r_i q_i / \sum_{i=1}^n r_i}{\sum_{j=1}^m r_j q_j / \sum_{j=1}^m r_j} ; \quad (1)$$

где:  $q_i$  – частные показатели, улучшение которых состоит в их максимизации;  
 $q_j$  – частные показатели, улучшение которых состоит в их минимизации;  
 $r_i$  и  $r_j$  – весовые коэффициенты, зависящие от степени важности соответствующего частного показателя.

Чтобы воспользоваться данной формулой, необходимо каждый частный показатель выразить в безразмерной форме и привести их к единому масштабу. Для этого достаточно числовые значения показателей, полученных для одного из альтернативных решений, принять в качестве базовых и пронормировать относительно них соответствующие показатели для всех остальных альтернативных вариантов. Тогда все показатели будут безразмерными и для базового варианта равны единицам, а для остальных вариантов либо больше единицы, либо меньше единицы, в зависимости от того больше или меньше числовое значение соответствующего показателя сравниваемого варианта относительно базового.

Что же касается первой трудности, то её так просто обойти не удаётся. Совершенно очевидно, что оценки числовых значений показателей качества концептуальных технических решений, не имеющих ещё технической проработки, будут субъективными, приблизительными и недостаточно достоверными, да и определение степени важности различных показателей также достаточно субъективно. Поэтому выбор наилучшего из альтернативных решений по оценкам их показателей качества является недостаточно надёжным.

Более надёжными являются методы, рассматриваемые в предыдущем параграфе и в главе 5, такие как сравнительный анализ вариантов на соответствие основным законам развития технических систем или оценка степени их приближения к идеальному конечному результату.

### **3. Формулировка технического задания**

Лишь выбрав наиболее перспективный вариант концептуального решения задачи, можно переходить к формулировке технического задания на проектирование объекта.

Техническое задание (ТЗ) это документ, в котором указываются:

- назначение проектируемого технического объекта, включая полный перечень выполняемых функций;
- общие технические требования, включая рабочие условия эксплуатации, хранения и транспортировки;
- специфические технические требования, вытекающие из обеспечения всех видов совместимости и выбранного концептуального решения;



- технические и тактико-технические характеристики объекта, определяемые его назначением и выполняемыми функциями (для информационных систем это: быстродействие и производительность системы, точность измерения и преобразования информации, объём хранимых данных, количество и характеристики информационных входов и выходов, способы представления выходной информации и т. п.);

- основные показатели качества, в том числе показатели безопасности, эргономичности, надёжности и соответствие требованиям технической эстетики;

- основные конструктивные требования (допустимые масса и габариты, требования к элементной базе, уровню унификации, стандартизации и выбору типоразмеров конструктивных элементов и узлов и т. п.);

- технико-экономические требования (оценка себестоимости будущего изделия, необходимых затрат на его проектирование и освоение производства, требования к энергопотреблению и питающим напряжениям, требования технологичности, ремонтпригодности и т. п.);

- необходимые этапы разработки конструкторской документации и её состав.

Требования к формулировке ТЗ определяются ГОСТ 15.001-88. При определении перечисленных выше требований необходимо руководствоваться действующими государственными, международными и отраслевыми стандартами по той отрасли техники, к которой относится разрабатываемое устройство, а при определении показателей назначения (технических и тактико-технических характеристик объекта) и основных показателей качества – предварительно составленной картой технического уровня лучших мировых образцов технических устройств данного назначения. По важнейшим из этих показателей проектируемое устройство должно превосходить лучшие мировые образцы, поскольку и мировой уровень не стоит на месте и за время, необходимое для проектирования и освоения производства данного объекта, он будет повышаться.

Если цель разработки состоит в создании нового изделия, удовлетворяющего вновь возникшие или существенно изменившиеся потребности, или в создании нового поколения выпускавшихся ранее изделий данного назначения, отличающихся кардинальным изменением структуры, элементной базы, уровнем автоматизации и т. п., то помимо технического задания разрабатывается *техническое предложение*.



#### **4. Разработка технического предложения**

Техническое предложение (ТП) разрабатывается в соответствии с ГОСТ 2.118-73 и содержит:

- технико-экономическое обоснование целесообразности и актуальности разработки данного технического объекта на основе проведенных маркетинговых исследований, достигнутого мирового технического уровня и анализа перспективных направлений развития данной узкой области техники;
- оценку научных, технических и технологических предпосылок для успешного решения поставленной задачи;
- описание имеющегося у разработчика научно-технического задела, показывающего возможность успешного решения задачи именно этим разработчиком;
- описания различных вариантов альтернативных концептуальных решений задачи, и проводится их сравнительный анализ и сравнение с уже существующими лучшими мировыми образцами, на основании чего определяется наиболее перспективное направление дальнейшей разработки;
- обосновываются закладываемые в техническое задание количественные значения основных технических характеристик будущего изделия.

Таким образом, ТП наряду с ТЗ представляют собой официальные документы, заключающие в себе результаты всех предпроектных этапов разработки нового технического объекта и содержащие всю необходимую информацию для выполнения последующих этапов проектирования.

#### **5. Вопросы для самопроверки**

1. Зачем необходима разработка нескольких различных альтернативных концептуальных решений поставленной технической задачи?
2. Каким образом осуществляется синтез возможных альтернативных решений поставленной технической задачи?
3. Какие основные методы используются при синтезе альтернативных концептуальных решений?
4. Как из нескольких возможных альтернативных концептуальных решений технической задачи выбрать наилучшее для дальнейшей разработки?
5. Каким образом можно уменьшить субъективизм при выборе наилучшего технического решения из ряда альтернативных?
6. Что содержит техническое задание (ТЗ) на проектирование нового технического объекта?

7. В каких случаях кроме технического задания разрабатывается и утверждается техническое предложение?

8. Чем отличается техническое предложение от технического задания?

### **6. Темы для подготовки доклада**

Подготовка отчёта и доклада по выполнению указанных этапов проектной разработки по теме индивидуального задания.

#### **Литература**

1. Дрейзин В.Э. Современные методы инженерного творчества: учебное пособие / В. Э. Дрейзин; Юго-Зап. гос. ун-т. – Курск, 2017. – 327 с. – Библиогр. с. 326-327

2. Дрейзин В.Э. Основы научных исследований и инженерного творчества [Текст]: учебное пособие. В 4-х кн. Кн. 4. Анализ технических объектов и решений, методы интенсификации инженерного творчества / В.Э. Дрейзин, И.С. Захаров; Курск. гос. техн. ун-т. Курск, 2005. 259 с.

# МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Юго–Западный государственный университет»  
(ЮЗГУ)

Кафедра космического приборостроения и систем связи

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе



## **ПРОСТЕЙШИЕ ПРИЁМЫ УСТРАНЕНИЯ ФИЗИЧЕСКОГО ПРОТИВОРЕЧИЯ И ПОЛУЧЕНИЕ ПРИНЦИПИАЛЬНОГО РЕШЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЗАДАЧИ**

Методические указания  
к практическому занятию для студентов, обучающихся по  
направлению 11.03.03 Конструирование и технология электронных  
средств (бакалавриат)

Курск 2021



УДК 621:001 (07)

Составитель: В.Э. Дрейзин

Рецензент

доктор технических наук, старший научный сотрудник,  
профессор кафедры космического приборостроения и систем связи  
*В. Г. Андронов*

**Простейшие приёмы устранения физического противоречия и получение принципиального решения технической задачи:** методические указания к практическому занятию для студентов, обучающихся по направлению 11.03.03 Конструирование и технология электронных средств (ба-калавриат) / Юго-Западный гос. ун-т; сост. В.Э. Дрейзин – Курск, 2021. – 12 с.: –. Библиогр.: с. 12.

Методические указания к практическому занятию содержат описание простейших приёмов устранения физического противоречия в изобретательских задачах. Предварительно должна быть составлена модель изобретательской задачи, в которой техническое противоречие заменено физическим противоречием между основными конфликтующими элементами модели. Рассмотрены приёмы разделения противоречивых требований в пространстве, во времени, путём использования переходных состояний одного или обоих конфликтующих элементов и путём перестройки структуры конфликтующей зоны. По каждому рассматриваемому приёму приведены примеры решения конкретных изобретательских задач.

Кроме того, методические указания содержат вопросы для самопроверки.

Методические указания соответствуют рабочей программе дисциплины «Методы инженерного творчества».

Методические указания предназначены для студентов, обучающихся по направлению 11.03.03 Конструирование и технология электронных средств (бакалавриат).

Текст печатается в авторской редакции

Подписано печать 15.03.24. Формат 60x841/16.

Усл. печ. л. 0,69. Уч.-изд. 0,63. Тираж 100 экз. Заказ 486. Бесплатно.

Юго-Западный государственный университет.

305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94

## Содержание

1. Простейшие приёмы устранения физического противоречия и получение принципиального решения технической задачи .....	4
2. Пример решения изобретательской задачи с применением приёма разделения противоречивых свойств в пространстве .....	4
3. Пример решения изобретательской задачи с применением приёма разделения противоречивых свойств во времени .....	6
4. Пример решения изобретательской задачи с применением приёма разрешения противоречия путём использования переходных состояний одного или обоих конфликтующих элементов, при которых сосуществуют или попеременно проявляются противоположные свойства .....	8
5. Примеры решения изобретательских задач с применением приёма разрешения физического противоречия путём перестройки структуры конфликтующей зоны одного или обоих конфликтующих элементов так, чтобы эта зона наделялась одним свойством, а вся остальная часть элемента – противоположным свойством .....	10
6. Вопросы для самопроверки .....	12
7. Темы для подготовки докладов .....	12
Литература .....	12



## **1. Простейшие приёмы устранения физического противоречия и получение принципиального решения технической задачи**

Сформулировав физическое противоречие в виде противоречащих друг другу требований к физическим свойствам конфликтующих элементов модели изобретательской задачи, следует попытаться его разрешить, применив один из простейших приёмов устранения физических противоречий. Таких приёмов четыре:

1. Разделение противоречивых свойств в пространстве.
2. Разделение противоречивых свойств во времени.
3. Разрешение противоречия путём использования переходных состояний одного или обоих конфликтующих элементов, при которых сосуществуют или попеременно проявляются противоположные свойства.
4. Разрешение противоречия путём перестройки структуры конфликтующей зоны одного или обоих конфликтующих элементов так, чтобы эта зона наделялась одним свойством, а вся остальная часть элемента – противоположным свойством.

Применяя эти приёмы для получения принципиального решения задачи, следует формулировать это решение в виде необходимых свойств и взаимодействий элементов, позволяющих разрешить физическое противоречие, т. е. совместить несовместимые ранее требования. При этом, на данном этапе можно не заботиться о технической реализации данного решения. Важно получить принципиальное решение, обеспечивая лишь его физическую выполнимость.

## **2. Пример решения изобретательской задачи с применением приёма разделения противоречивых свойств в пространстве**

Рассмотрим следующую изобретательскую задачу:

*Задача 1. Для изготовления предварительно напряжённых железобетонных конструкций (которые при той же массе выдерживают примерно в полтора раза большие нагрузки, чем обычные железобетонные конструкции) необходимо стальную арматуру предварительно растягивать и в таком виде заливать бетонной массой. Когда бетон затвердеет, растягивающая нагрузка с арматуры снимается, она стремится сжаться и оказывает на бетон сжимающее усилие, которое он выдерживает гораздо лучше, чем растягивающее. Поэтому когда на готовую конструкцию действует внешнее растягивающее усилие, то оно вначале должно скомпенсировать внутреннее сжимающее усилие создаваемое арматурой, за счёт чего и повыша-*



ется прочность конструкции. Чтобы обеспечить необходимое предварительное растяжение арматуры (оно должно быть ниже предела упругости) можно использовать механическое растяжение, для чего требуется громоздкое и малонадёжное оборудование в виде механических или гидравлических домкратов), или её нагрев до  $700^{\circ}\text{C}$  (именно при такой температуре она получит необходимое удлинение, соответствующее растяжению до предела упругости. Нагрев можно осуществить пропусканием через неё сильного электрического тока. Однако, в этом случае арматура теряет свои прочностные свойства (происходит высокотемпературный отпуск и она становится слишком пластичной). Требуется применяя электротермический способ устранить последствия нагрева в виде потери прочностных свойств.

В этой предварительной формулировке задачи уже явно выделены основные противоречащие элементы – это стальная арматура и тепловое поле для её нагрева. Явно сформулировано и техническое противоречие: чтобы обеспечить необходимое удлинение арматуры, надо её нагреть до  $700^{\circ}\text{C}$ , но при этом она теряет свои прочностные свойства (резко снижается предел упругости). Чтобы построить модель этой задачи достаточно от технического противоречия перейти к физическому.

Физическое противоречие формулируется в виде двух противоречивых физических свойств, которыми должен обладать выделенный элемент объекта, чтобы разрешить техническое противоречие. В нашем случае его можно сформулировать следующим образом: *арматура должна быть нагрета до  $700^{\circ}\text{C}$ , чтобы получить необходимое удлинение и, в то же время, не должна быть нагрета, чтобы не потерять прочностных свойств.*

Таким образом получаем следующую модель изобретательской задачи:

**Модель задачи 1:** *Имеется стальная арматура, которую необходимо растягивать путём нагрева её электрическим током. Она должна быть нагрета до  $700^{\circ}\text{C}$ , чтобы получить необходимое удлинение и, в то же время, не должна быть нагрета, чтобы не потерять прочностных свойств. Требуется устранить это противоречие.*

Казалось бы, одно требование полностью исключает другое и разрешить данное противоречие невозможно. Но именно в этом и состоит ценность перехода к модели задачи и замена технического противоречия физическим. Такая «противоестественная» формулировка противоречия заставляет отрешиться от привычных компромиссных решений (например, нагревать не до  $700$  градусов, а до меньшей температуры, при которой она ещё не теряет своих прочностных качеств) и искать действительно сильное решение, преодолевающее его.

Первый приём устранения физических противоречий состоит в разделении противоречивых свойств в пространстве. В нашем случае это сводится



к следующему: раз нельзя нагревать ту арматуру, которая останется в теле железобетонной конструкции, введём другой элемент – два стержня из той же стали, жёстко скрепленных по краям с нашей арматурой, но не заливаемые бетонной массой, и будем нагревать их до  $700^{\circ}\text{C}$ . Они, при этом, получат необходимое удлинение и растянут арматуру, которая сама останется холодной, а значит, не потеряет своих прочностных свойств. А изменение прочностных свойств этих стержней нас не волнует, т. к. они в саму железобетонную конструкцию не входят. Держать их нагретыми всё то время, пока будет застывать бетонная масса, тоже не обязательно. Получив нужное удлинение арматуры, её можно жёстко фиксировать в растянутом состоянии (временно приваривать к какой-то раме), после чего прекращать нагрев, что будет экономить расход электроэнергии.

Таким образом, применив первый этот приём, мы получили искомое решение. Причём, ввиду того, что модель задачи очень близка к её исходной формулировке (других элементов, кроме тех, между которыми возникает противоречие в исходной задаче нет), мы получили сразу техническое решение задачи, т. е. не только разрешение физического противоречия на принципиальном уровне, но и способ технической реализации решения. Все условия задачи выполнены: удлинение арматуры достигнуто с помощью электронагрева, но сама арматура при этом не нагревается, а значит, её прочностные свойства не ухудшаются. Сделать этот, казалось бы, такой простой и очевидный шаг – нагревать не саму арматуру, а связанный с ней дополнительный элемент, не входящий в изготавливаемую железобетонную конструкцию (а значит, он будет использоваться многократно, т. е. не будет расходоваться), оказывается весьма сложно, если использовать только метод проб и ошибок.

### **3. Пример решения изобретательской задачи с применением приёма разделения противоречивых свойств во времени**

*Задача 2: Необходимо контролировать качество точечной сварки, осуществляемой сварочным автоматом. Точечная сварка листовых металлов осуществляется путём пропускания сильного электрического тока между электродами, прижатыми с противоположных сторон к свариваемым листам металла (вместо второго листа может использоваться массивная металлическая конструкция, к которой надо приварить лист). Контроль должен осуществляться неразрушающим методом и, желательно, в процессе самой сварки. В этом случае, во-первых, будет исключён брак, во-вторых, будет достигнута высокая производительность процесса. качество точечной сварки определяется размерами расплавленного ядра в месте*



контакта свариваемых металлов. Наилучшая прочность достигается в том случае, когда радиус расплавленного ядра меньше толщины привариваемого листа, но больше половины его толщины. Процесс появления и роста расплавленного ядра в месте сварки происходит достаточно быстро (в течение нескольких секунд) и зависит не только от времени пропускания и величины тока, но и от качества контакта в точке сварки, вариаций толщины листа и условий теплоотвода от точки сварки (при приварке листа к сравнительно тонкому участку конструкции теплоотвод будет меньше, к толстому участку – больше. Поэтому наилучшим косвенным информативным признаком является температура свариваемой точки (непосредственно под прижатым электродом). Поместить под электрод или рядом с ним термодатчик (например, термопару) проблематично (под электрод её вообще помещать нельзя, т.к. нарушится прохождение сварочного тока, в непосредственной близости от сварной точки (даже если это удастся выполнить конструктивно) – бесполезно, т.к. термоэдс составляет десятки милливольт, а сварочный ток может достигать сотен ампер и наводки в измерительную цепь будут такими, что на их фоне не то что измерить, но и обнаружить полезный сигнал будет невозможно. Требуется предложить способ неразрушающего оперативного контроля температуры сварной точки в процессе сварки.

Построим модель задачи 2:

**Модель задачи 2:** Чтобы осуществлять точечную сварку, через прижатый к привариваемому металлическому листу электрод должен пропускаться сильный электрический ток, под действием которого в месте контакта между свариваемыми металлами возникает расплавленное ядро, от размеров которого зависит качество сварки. Для контроля роста размера расплавленного ядра необходимо контролировать температуру под электродом. Но для контроля температуры тока через электрод быть не должно.

Таким образом, физическое противоречие состоит в том, что для проведения сварки через место контакта электрода со свариваемым листом должен проходить сильный ток, а для контроля температуры точки сварки тока быть не должно.

Здесь как раз и напрашивается применение второго приёма разрешения физических противоречий – разделение противоречивых требований во времени. Решение состоит в том, что сварка осуществляется не непрерывным а импульсным током, а в промежутках между импульсами осуществляется измерение температуры сварной точки. При этом термопарой является медный электрод и привариваемый металл (это может быть любой металл, кроме чи-



стый меди, но даже если надо приваривать чистую медь, то достаточно вместо медного электрода использовать любой другой подходящий металл с хорошей электропроводностью). Для измерения термоэдс достаточно единиц миллисекунд, следовательно, интервал между импульсами сварного тока можно сократить до 10 мс. Длительность самих импульсов тока может быть также в пределах десятков миллисекунд, а их необходимое количество будет определяться результатами измерений температуры сварной точки, производимыми в паузах между импульсами. Получилось простое эффективное и надёжное решение для автоматического управления сварочным автоматом.

#### **4. Пример решения изобретательской задачи с применением приёма разрешения противоречия путём использования переходных состояний одного или обоих конфликтующих элементов, при которых сосуществуют или попеременно проявляются противоположные свойства**

*Задача 3: При полировании оптических стёкол под полировальник (который сделан из затвердевшей смолы, в которую добавлен полировальный порошок, обычно алмазный) необходимо подавать охлаждающую жидкость, которая помимо функции охлаждения полируемой поверхности и самого полировальника должна смывать с полируемой поверхности снятые микрочастицы стекла и оторвавшиеся частицы самого полировальника. Чтобы подавать охлаждающую жидкость, в теле полировальника обычно делают сквозные отверстия, через которые и подают охлаждающую жидкость. Но при этом уменьшается производительность полирования, т. к. уменьшается площадь контактирования полировальника с полируемой поверхностью. Как обеспечить эффективное охлаждение и очистку полируемой поверхности без снижения производительности процесса полирования?*

Построим модель этой задачи:

*Модель задачи 3: Имеются: полировальник (который сделан из полировального порошка и связующего вещества, удерживающего частицы полировального порошка), полируемая поверхность и охлаждающая жидкость, которую необходимо подавать под полировальник, чтобы охладить полируемую поверхность и смывать с неё снятые микрочастицы объекта и оторвавшиеся частицы самого полировальника. При этом, чтобы достичь максимальной производительности процесса полирования вся поверхность полировальника должна быть твёрдой, а чтобы полируемая поверхность эффективно охлаждалась и отработанные частицы хорошо смывались вся поверхность полировальника должна быть жидкой.*



Здесь физическое противоречие формулируется в виде на первый взгляд взаимоисключающих требований: для увеличения производительности процесса полирования вся поверхность полировальника должна быть твёрдой, а для улучшения условий охлаждения и смывания отработанных частиц – вся она должна быть жидкой.

Содержащееся в формулировке исходной задачи решение, заключающееся в изготовлении полировальника со сквозными отверстиями, через которые должна подаваться охлаждающая жидкость, является как раз реализацией первого приёма – разделения противоречивых свойств в пространстве. Однако оно неэффективно, т. к. снижает производительность процесса.

Можно попытаться применить второй приём – разделить эти свойства во времени: периодически приподнимать полировальник и омывать полируемую поверхность охлаждающей жидкостью. Однако, очевидны его недостатки: во-первых, процесс полирования должен периодически прерываться, а значит, его производительность будет падать, а, во-вторых, полируемый объект будет периодически подвергаться термическим напряжениям (нагреваться при полировании и охлаждаться во время пауз холодной жидкостью), что может приводить к деформациям полируемой поверхности и даже её растрескиванию.

Попытаемся применить третий приём – разрешить противоречие путём использования переходных состояний одного или обоих конфликтующих элементов. Любая жидкость может находиться и в твёрдом состоянии, надо лишь её охладить до температуры замерзания. В качестве охлаждающих жидкостей при полировании применяют либо чистую воду, либо эмульсию на основе воды. Следовательно, необходимо весь полировальник сделать из замороженной воды – льда, в который вморожен полировальный порошок. Тогда под действием тепла, выделяющегося при полировании, лёд на границе раздела будет плавиться, превращаясь в воду, и поглощать при этом гораздо больше тепла, чем просто при передаче тепла жидкости за счёт теплопроводности. Таким образом, ранее несовместимые свойства оказались совмещены: вся поверхность полировальника одновременно и твёрдая, и жидкая. Конечно, ледяные полировальники будут расходоваться быстрее, чем обычные. Но сама вода практически ничего не стоит, а абразивный порошок, смываемый в процессе полирования, можно собирать и использовать вторично для изготовления новых полировальников. Вот и найдено эффективное решение задачи, во всех отношениях превосходящее традиционное. Причём и здесь найдено сразу техническое решение.



## **5. Примеры решения изобретательских задач с применением приёма разрешения физического противоречия путём перестройки структуры конфликтующей зоны одного или обоих конфликтующих элементов так, чтобы эта зона наделялась одним свойством, а вся остальная часть элемента – противоположным свойством**

Примеров использования четвертого приёма разрешения физических противоречий, заключающегося в перестройке структуры конфликтующей зоны одного или обоих конфликтующих элементов так, чтобы эта зона наделялась одним свойством, а вся остальная часть элемента – противоположным свойством, можно привести множество.

В машиностроении исключительно широкое применение получили методы поверхностного упрочнения деталей: закалка токами высокой частоты, термохимическое упрочнение (науглероживание, азотирование, борирование и т. п. поверхностных слоёв деталей), поверхностный наклёп, плазменная обработка и т. д. В результате такой обработки поверхностные слои деталей получают высокую твёрдость и износостойкость, тогда как все тело детали остаётся достаточно пластичным, а значит, вся деталь обладает высокой ударной прочностью.

В микроэлектронике для создания электроизоляционных участков в полупроводниковых структурах, формируемых на поверхности кремниевого кристалла, поверхность кремния на данных участках окисляется, а окисел кремния является прекрасным изолятором в отличие от самого кристалла кремния, который является полупроводником.

Для закрепления данного приёма приведём ещё одну задачу.

***Задача 3.** При высокой скорости движения (свыше 60 км/час) судов на подводных крыльях на поверхности подводных крыльев возникает явление кавитации (образуются вакуумные микропузырьки, которые, схлопываясь, порождают в соответствующей микрообласти ударные давления в тысячи атмосфер, фактически это микровзрывы, которые разрушают прилегающую поверхность крыльев). Противостоят кавитации не может ни один материал, какой бы твёрдый он ни был (именно поэтому скорость пассажирских судов на подводных крыльях ограничивается величиной 60-70 км/час). Как защитить поверхность подводных крыльев от воздействия кавитации при высоких скоростях движения? Если эта задача будет решена, то скорость движения может быть увеличена до 150 км/час и даже выше, что очень важно для военных судов.*

Построим модель данной задачи. Конфликтующие элементы выделить не сложно – это поверхность подводных крыльев и набегающий поток воды.



При высокой скорости движения в пограничном слое этого потока возникают завихрения, которые и являются причиной возникновения кавитации. Предотвратить это явление мы не можем. Совершенствованием формы крыла и качеством полировки его поверхности можно лишь добиться некоторого повышения критической скорости, при которой это явление становится настолько интенсивным, что начинает повреждать поверхность крыла (она покрывается микрокавернами, что приводит к прогрессивному усилению воздействия кавитации). Раз невозможно предотвратить это явление, то надо так изменить структуру конфликтной зоны, чтобы кавитация не причиняла вреда поверхности крыльев. Причём, согласно четвёртому приёму этот слой, защищающий поверхность крыла, должен быть видоизменённым состоянием самих конфликтующих элементов. Каким бы мы ни сделали видоизменённый поверхностный слой металла, на него всё равно будет действовать кавитация, а заменять или наращивать его проблематично. Правда, поверхность крыла можно защитить различными покрытиями: компаундами, мастиками и т. п., которые можно периодически возобновлять по мере их разрушения из-за кавитации. Однако, операции нанесения таких покрытий весьма трудоёмки и дороги: надо ставить судно в сухой док, или снимать крылья, их поверхность должна быть тщательно очищена и обезжирена, да и само покрытие не дёшево. А через неделю всё придётся повторять заново, чтобы кавитация не успела добраться до самого металла. Решение явно неудовлетворительное.

Сделать пограничный слой из комбинации обоих элементов (металла и воды) невозможно. Следовательно, остаётся сама вода. Видоизменённым состоянием воды является её твердое агрегатное состояние – лёд. Можно ли защитить поверхность крыльев слоем льда? Конечно можно. Для этого достаточно охладить крылья, прокачивая через сделанные в них полости охлаждающую жидкость. Это можно сделать во время стоянки, наморозив слой льда толщиной в 1-2 см, достаточный для совершения рейса или возобновлять непрерывно во время движения, установив на борту небольшой холодильный агрегат. В этом случае достаточно непрерывно поддерживать толщину этого слоя в 1-2 мм. Кавитация, конечно, не исчезнет, но она будет разрушать не само крыло, а лёд, покрывающий его поверхность. А взамен разрушенного слоя будет непрерывно намораживаться новый слой льда. По сравнению с созданием искусственных катков, где толщина ледового слоя составляет 10-20 см, а площадь – тысячи квадратных метров, задача намораживания слоя льда толщиной в несколько миллиметров на площади в несколько квадратных метров технически не сложна и не требует больших затрат энергии (по сравнению с затратами энергии на само движение судна эти дополнительные затраты ничтожны). Решение получено!

## 6. Вопросы для самопроверки

1. В чём состоит модель изобретательской задачи?
2. Сколько в ТРИЗе разработано простейших приёмов устранения физических противоречий в изобретательских задачах?
3. В чём состоит суть первого приёма разрешения физического противоречия?
4. Привести примеры использования первого приёма разрешения физических противоречий.
5. В чём состоит суть второго приёма разрешения физического противоречия?
6. Привести примеры использования второго приёма разрешения физических противоречий.
7. В чём состоит суть третьего простейшего приёма устранения физического противоречия в модели изобретательской задачи?
8. Привести примеры третьего простейшего приёма устранения физического противоречия использования.
9. В чём состоит суть четвёртого простейшего приёма устранения физического противоречия в модели изобретательской задачи?
10. Привести примеры использования четвёртого приёма разрешения физического противоречия.

## Литература

1. Дрейзин В.Э. Современные методы инженерного творчества: учебное пособие / В. Э. Дрейзин; Юго-Зап. гос. ун-т. – Курск, 2017. – 327 с. – Библиогр. с. 326-327
2. Дрейзин В.Э. Основы научных исследований и инженерного творчества [Текст]: учебное пособие. В 4-х кн. Кн. 4. Анализ технических объектов и решений, методы интенсификации инженерного творчества / В.Э. Дрейзин, И.С. Захаров; Курск. гос. техн. ун-т. Курск, 2005. 259 с.