

Владимир Петров
Израиль,
E-mail: Atr1@bigfoot.com

Прогнозирование развития технических систем

Статья представляет собой первую из серии статей, описывающей законы развития систем. Эта серия статей - краткий обзор книги, написанной автором совместно с Эстер Злотин, посвященной законам развития систем.

Работа описывает теоретические представления авторов о законах развития систем с позиций системных исследований. В данной статье описывается методика прогнозирования развития технических систем.

1. Основные понятия прогнозирования

Прогнозирование развития технических систем должно проводиться на всех этапах жизненного цикла изделия от зарождения идеи, проектирования, изготовления, эксплуатации и до утилизации.

Прогнозы бывают **поисковыми** и **нормативными**¹.

Поисковый прогноз - (прежде его также называли исследовательский, изыскательский, трендовый, генетический и т.п.) - это определение возможных состояний явления будущего. Условное продолжение в будущем тенденций развития изучаемого явления. Такой прогноз отвечает на вопрос: что вероятнее всего произойдет?

Нормативный прогноз - (иногда он называется программным и целевым) - определение путей и сроков достижения возможных состояний явления, принимаемого в качестве цели. Осуществляется прогнозированием достижения желаемых состояний. Этот прогноз отвечает на вопрос, какими путями достичь желаемого?

По периоду упреждения - промежутку времени, на который рассчитан прогноз, различаются прогнозы:

- **оперативные (текущие);**
- **краткосрочные;**
- **среднесрочные;**
- **долгосрочные;**
- **дальнесрочные (сверхдолгосрочные).**

Оперативный прогноз, как правило, рассчитан на перспективу, на протяжении которой не ожидается существенных изменений объекта исследования - ни количественных, ни качественных. Обычно оперативный прогноз делается на срок упреждения до 1 месяца.

Краткосрочный прогноз - на перспективу только количественных изменений со сроком упреждения до 1 года.

Среднесрочный прогноз - на перспективу с преобладанием количественных изменений над качественными, сроком на несколько (обычно до 5) лет.

¹ **Рабочая книга по прогнозированию**/Редкол.:И.В.Бестужев-Лада (отв.ред.) - М.: Мысль, 1982, с.10-13.

Долгосрочный прогноз - не только количественных, но преимущественно качественных изменений. Срок упреждения свыше 5 и примерно до 15-20 лет.

Дальнесрочный (сверхдолгосрочный) прогноз - перспективу, когда ожидается столь значительные качественные изменения, что по существу можно говорить лишь о самых общих перспективах развития.

Прогнозирование может выполняться на качественном и количественном уровнях. Прогнозирование на количественном уровне предсказывают параметры исследуемого объекта, а на качественном - образ будущего объекта. В данной работе рассматривается только качественный уровень прогнозирования. Срок упреждения в таком прогнозировании установить невозможно, и это не ставится целью. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ с использованием ТРИЗ должно завершаться получением перспективных решений. Период времени, когда эти решения могут быть использованы на производстве, прежде всего, зависит от эффективности проведения нормативного прогноза².

2. Прогнозирование с использованием ТРИЗ

2.1. Общие сведения

Для поискового прогнозирования используются все элементы ТРИЗ. Поисковый прогноз должен иметь функциональную направленность и получить общее направление развития исследуемой технической системы и конкретные технические решения, которые оформляются в виде заявок на изобретения. Пути осуществления этих решений рассматриваются при нормативном прогнозировании.

Осуществление этих решений может потребовать использование материалов, комплектующих элементов, оборудования, технологических процессов:

- имеющиеся на мировом рынке;
- требующие частичной их доработки;
- не существующих в мировой практике.

В последнем случае такой прогноз выявит необходимые в будущем материалы, комплектующие элементы, оборудование, технологические процессы. Это будет основанием и приводит к необходимости заказа на их разработку и производство.

² **Петров В.М. Системный анализ выбора технических задач.** - Методы решения конструкторско-изобретательских задач. - Рига, 1978, с. 73-75.

Петров В.М. Прогнозирование тематики НИОКР. - Всесоюзная научно-практическая конференция "Проблемы развития и повышения эффективности научного и технического творчества трудящихся". - М.: 1979, с. 304-308.

Разработка прогноза развития науки и техники по группам однородной продукции (прогноз развития различных видов сварки).-Отчет о НИР/Отв. исп. В.М.Петров. - Л.: ВНИИЭСО, 1986, 86 с.

Петров В.М. Применение ТРИЗ в ходе ФСА сварочной техники. - Функционально-стоимостный анализ в обеспечении качества, снижении себестоимости продукции и ресурсосбережении. - Пенза: ПДНТП, 1986, с. 35-36.

Исследование перспектив и разработка прогноза развития групп однородной продукции на период до 2015 г. - Отчет о НИР/Отв. исп. В.М.Петров. - Л.:ВНИИЭСО, 1987, 44 с.

Петров В.М. Использование теории решения изобретательских задач для прогнозирования развития технических систем. Развитие теории прогностики и практика прогнозирования научно-технического прогресса в условиях интенсификации народного хозяйства. - Л.: ЛДНТП, 1988, с. 25-28.

Петров В.М. Прогнозирование развитие техники на основе законов развития технических систем. - Теория и практика обучения техническому творчеству. - Челябинск: УДНТП, 1988, с. 28.

Петров В.М. ФСА на этапе прогнозирования развития технических систем. - Стоимостный инжинеринг и его роль в интенсификации экономики. - Братислава: ДТ ЧСНТО, 1989, с. 33-34.

В свою очередь такой заказ может быть связан с определенными трудностями, или вообще невозможно выполнить в настоящее время. В этих условиях проблемы, выявляемые при нормальном прогнозировании, разрешаются с использованием элементов ТРИЗ и находятся другие альтернативные пути осуществления выполненного прогноза.

В результате прогноза выявляются возможные направления развития конкретного вида техники или технологии, в виде перспективных, в том числе принципиально новых решений. Авторские права на полученные решения могут быть защищены, например, в виде серии “зонтичных” патентов и патентного “забора”. Такой прогноз, как правило, не только показывает новые и перспективные направления развития техники, но и сокращает время на исследования и разработки. Позволяет заблаговременно составить план мероприятий по реализации, полученных решений.

Такая работа позволит фирме в кратчайшие сроки стать обладателем наиболее перспективных патентов “перекрывающих” наиболее важные (заранее выбранные) области техники и технологии. Кроме того, прогноз позволяет увидеть перспективу развития конкретных видов техники и технологии и заблаговременно разработать мероприятия по их внедрению, а, следовательно, подготовить оптимальный план развития этих видов техники и выделить необходимые на это средства. Такая работа позволит сэкономить не только время, но и материальные и людские ресурсы.

2.2. Технология проведения прогноза

Поисковый прогноз проводится в основном с использованием **системы стандартов** на решение изобретательских задач и **законов развития технических систем**. Прогнозирование проводится последовательным использованием отдельных законов, закономерностей, механизмов осуществления законов развития технических систем и каждого из стандартов на решение изобретательских задач по определенной системе.

Иногда применение различных законов и стандартов подсказывает решения, **противоречащие друг другу**. В этом случае появляется изобретательская ситуация, которая разрешается с помощью **АРИЗ** или других элементов **ТРИЗ** (например, стандартов или эффектов).

Кроме того, решения, полученные в **системе**, согласуются с **надсистемой** и **подсистемами**. Если в этом случае возникают **противоречия**, то они так же разрешаются с помощью указанных выше элементов ТРИЗ. Полученное новое решение и является продуктом поискового прогнозирования.

Необходимо отметить, что при проведении поискового прогнозирования можно использовать несколько видов поиска решений.

2.2.1. Виды поведения прогноза

Такой поиск проводится с помощью использования:

- 1. Системы стандартов** на решение изобретательских задач и **системы законов** развития технических систем.
- 2. Закономерностей развития исследуемой системы.**
- 3. Закономерностей развития реально существующих систем.**
- 4. Функциональных закономерностей развития** (закономерностей развития систем по определенной функции).

Опишем более детально эти направления прогнозирования.

1. Первое направление связано с применением **системы стандартов** на решение изобретательских задач и **системы законов** развития технических систем. Система законов описана ранее.

Законы не привязаны к конкретной технической системе. Их рекомендации носят самый общий характер, указывая главное направление развития.

2. Второе направление показывает **развитие конкретных технических систем**. Это направление определяется путем анализа патентного фонда исследуемой технической системы. Такой анализ завершается определением закономерностей развития исследуемой системы.

3. Третье направление завершается определением тенденций развития **реально существующих систем**.

Получение прогнозных решений по первому направлению требует затрат времени, меньших, чем по другим направлениям.

Часто это направление называют **экспресс-прогнозом**. С помощью второго и третьего направлений осуществляется уточнение экспресс-прогноза. Кроме того, анализ конкретных технических систем по патентным материалам и описаниям существующих систем позволяет уточнить и конкретизировать общие законы развития технических систем и механизмы их действия.

Уточнение экспресс-прогноза проводится постепенным сопоставлением результатов первого и второго направлений, второго и третьего и первого и третьего. В этих случаях могут возникнуть решения, **противоречащие** друг другу. Появившаяся изобретательская ситуация разрешается применением, прежде всего стандартов на решение изобретательских задач и АРИЗ, возможно применение и других элементов ТРИЗ (например, системы эффектов или приемов разрешения противоречий).

4. Дальнейшее уточнение результатов прогноза проводится сравнением полученных решений с закономерностями развития технических систем по определенной функции. Эти закономерности называют. Такое прогнозирование, прежде всего, проводится по главной функции исследуемой системы, а затем, если это необходимо, по основным и второстепенным.

Каждый из указанных видов прогнозирования может использоваться отдельно и/или они могут использоваться все комплексно.

2.2.2. Технология работы с информацией

Указанные **закономерности развития конкретных технических систем** (см. этап 2 в предыдущем пункте) определяются по **патентной информации** и по **документации существовавших и существующих систем**.

Поиск и отбор информации для определения этих закономерностей проводится **предметно** (по определенному *классу изобретений* и документации определенного вида техники).

Для определения **функциональных закономерностей развития** информацию ищут по **функциональному признаку** вне зависимости от класса изобретений. В качестве функций берут *главную, основную и вспомогательные*. Патентные материалы начинают исследовать со *способов* (технологий), а затем уточняют по *устройствам* (конструкциям).

Из отобранной информации *отбрасываются дублирующая и несущественная*. Оставшаяся информация классифицируется по функциональным и предметным признакам. Определяются конкретные *направления и поднаправления* в развитии системы. По этим направлениям информация выстраивается в **исторической последовательности** (в патентах - по году появления изобретения).

Историческая последовательность решений не всегда логична. В этой последовательности часто сделанные раньше изобретения повторяются через определенный промежуток времени.

Иногда эти решения даже менее перспективны, чем первоначальные. Бывает, что некоторые изобретения появляются слишком рано и не получают развития в ближайшие годы. Через некоторое время эти решения повторяются в несколько ином виде, начинают развиваться в других изобретениях. По исторической последовательности сначала определяют **логику развития** и выстраивают решения в **логико-исторический ряд** вне зависимости от времени их появления. Логико-историческая последовательность определяется по каждому классификационному направлению (признаку).

Логика развития каждого **направления** определяется следующим образом:

- в каждом отобранном решении **выявляют** отличительные **признаки**;
- **отличительные признаки** предшествующего и последующего изобретений **сравниваются**;
- выявляют **цель изобретения** и **способ получения** этого изобретения (это может быть своего рода прием разрешения противоречий, задача-аналог или стандарт на решение изобретательских задач);
- далее преимущественно в историческом порядке **выстраивают способы получения решений**.

По этой цепочке определяют "провалы" в логике и перестраивают ее, получая логическую линию. Эта логико-историческая последовательность и представляет собой закономерность развития системы.

2.2.3. Прогнозирование с помощью системы стандартов

Прогнозирование с помощью **стандартов на решение изобретательских задач**³ проводится в определенной последовательности. Общая система стандартов представлена в приложении. Главное направление развития систем идет в сторону увеличения порядкового номера стандарта. Частные направления развития технических систем рассматриваются по классам и подклассам. Нагляднее всего они изображены в таблице применения стандартов, которая представлена в приложении.

Перед проведением прогноза развития технических систем с использованием системы стандартов необходимо выявить, относится ли исследуемая система к измерительным или изменительным (рис. 1).

³ **Нить в лабиринте**/Сост. А.Б.Селюцкий. - Петрозаводск: Карелия, 1988.-277 с. - (Техника - молодежь - творчество)

АЛГОРИТМ ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМЫ СТАНДАРТОВ НА РЕШЕНИЕ ИЗОБРЕТАТЕЛЬСКИХ ЗАДАЧ

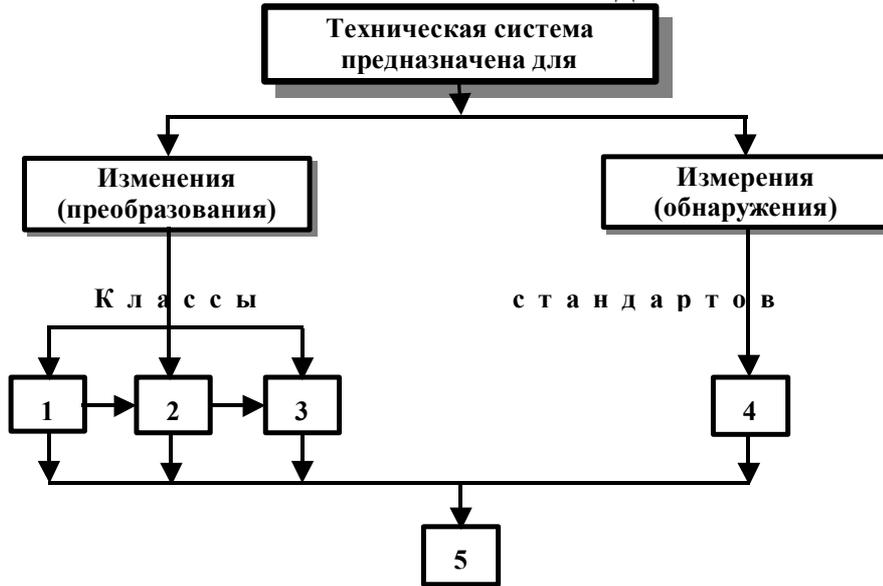


Рис. 1

Системы на изменение (преобразование) развиваются по стандартам классов 1-3, а на измерение (обнаружение) - по классу 4. Причем развитие осуществляется постепенным переходом от одного стандарта к другому сначала по первому, затем по второму, а в дальнейшем по третьему классу. После осуществления этих преобразований обязательно необходимо перейти к пятому классу (рис 2.).

Рассмотрим прогнозирование по системе стандартов на решение изобретательских задач более детально (рис. 2.).

Первоначально определяют уровень развития системы. Является ли система вепольной или невепольной. Если система невепольная, то прогноз начинают с первого класса. Систему необходимо развить от стандарта 1.1.1 до 1.1.8. Причем стандарты 1.1.6-1.1.8 применяются если необходимо получить оптимальное (минимальное или максимальное) действие или режим. Решения, полученные при этом, являются прогностическими.

Дальнейшее движение идет по линии развития вепольных систем, т.е. переход к классу 2 (показано линиями обратной связи). Сначала осуществляют переход к сложным веполям подкласс 2.1 с образованием системы из цепных и двойных веполей. Когда получены эти решения, переходят к форсированным веполям (стандарты 2.2.1-2.2.6), затем к форсированному согласованию ритмики (стандарты 2.3.1-2.3.3) и, наконец, к комплексно-форсированным веполям (феполям), постепенно используя стандарты 2.4.1-2.4.12. Полученные решения относятся к системе.

Если все прогнозные решения получены для системы, то осуществляют следующий переход к надсистеме или подсистеме (класс 3). Переход в надсистему (подкласс 3.1) осуществляется механизмом перехода МОНО-БИ-ПОЛИ и свертыванием БИ- и ПОЛИсистем, используя различные переходы. Далее осуществляют переход системы на микроуровень (стандарт 3.2.1).

АЛГОРИТМ ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМЫ СТАНДАРТОВ НА РЕШЕНИЕ ИЗОБРЕТАТЕЛЬСКИХ ЗАДАЧ

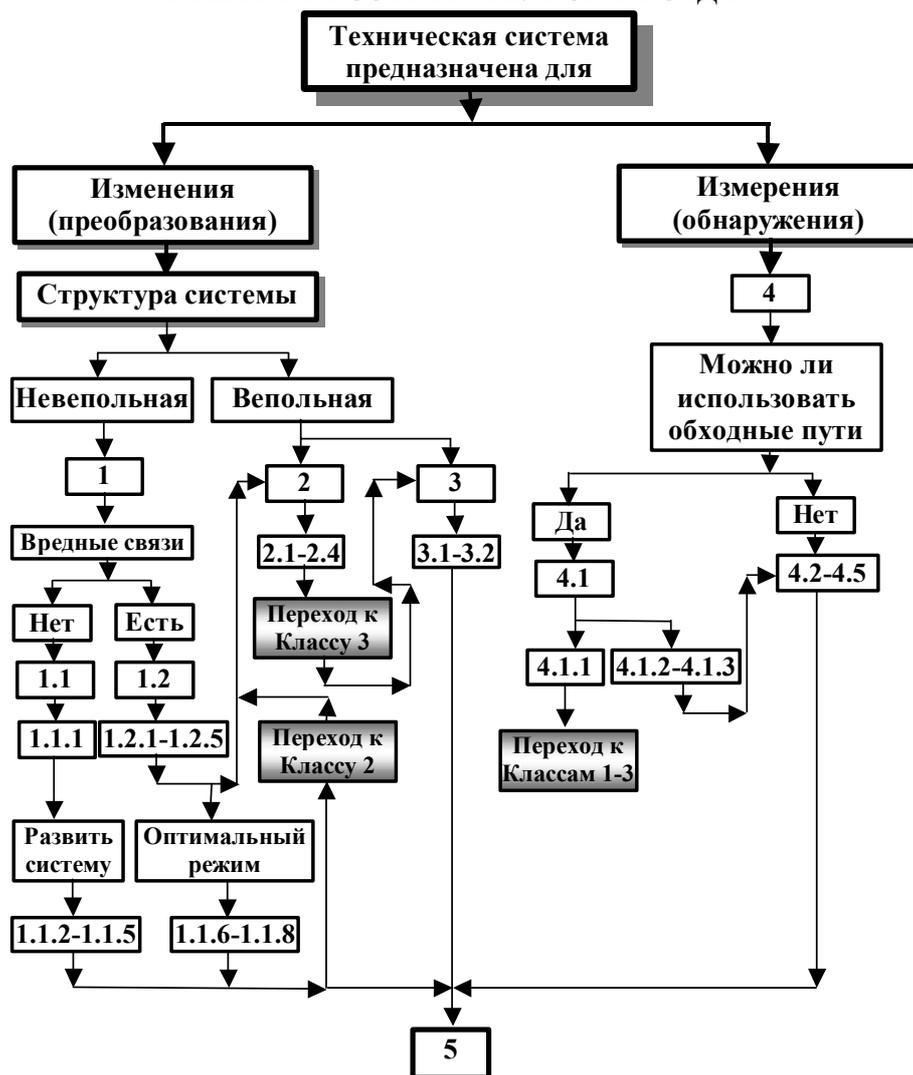


Рис. 2

На этом прогноз развития системы на изменение завершается. Уточнение прогноза для получения более идеальных решений проводится с помощью стандартов класса 5. Этот класс стандартов нацеливает на использование **ресурсных решений**. По стандартам подкласса 5.1 определяют, как вводить вещества, не вводя их, т.е. как максимально использовать ресурсы вещества.

Стандарты подкласса 5.2 подсказывают, как использовать стандарты поля. Следующие группы стандартов 5.3 и 5.4 указывают на более эффективные способы применения технологических эффектов к выбранным ранее на подклассах 5.1 и 5.2 ресурсам веществ и полей.

Подкласс 1.2 не рассматривался ранее, так как имеет особую функцию. Он применяется только в тех случаях, если в системе имеются вредные связи. После проведения преобразований по стандартам 1.2.1-1.2.5 следует развить решение по стандартам классов 2-3, а затем и 5 (на рис. 2 это показано в виде обратной связи).

Прогноз развития систем обнаружения и измерения проводится по классу 4.

Прогнозирование систем этого класса начинается с использования обходных путей, описанные в подклассе 4.1. Сначала определяют возможность замены задачи на измерение задачей на изменение, т.е. выбрать более общую функцию. Для этого

используют стандарт 4.1.1. Если осуществляется такая замена, то необходимо снова использовать стандарты классов 1-3. Если необходимо развить измерительную систему, то последовательно применяют стандарты подклассов 4.2-4.5. В любом случае применение стандартов класса 5 обязательно для повышения идеальности системы.

2.2.4. Прогнозирование с помощью системы законов развития техники

2.2.4.1. Общие сведения

После проведения экспресс-прогноза по системе стандартов желательно провести экспресс-прогноз по системе законов развития техники. Эта система представлена ранее на в предыдущих статьях.

Прогнозирование развития технического объекта по системе законов может начинаться с уровней **потребностей, функций** или **систем**. Обычно прогнозирование на уровне *функций* или *потребностей* является межотраслевым и рассматривает наиболее *глобальные проблемы*, которые одинаково важны для ряда отраслей или больших концернов.

Прогнозирование на уровне систем можно проводить для имеющихся систем или создавать принципиально новые технические системы.

Если прогнозирование нацелено на получение идей **принципиально новых технических систем (ТС)**, то оно начинается с группы **законов организации ТС**. После применения этих законов прогнозирование необходимо продолжить по *законам эволюции ТС*.

Прогноз развития **существующих систем** проводится по **законам эволюции ТС**.

Технология применения этих законов описана ранее.

В нормативном прогнозе по выбранному направлению развития научных исследований определяется качественная и количественная потребность в лабораторном и экспериментальном оборудовании, материалах и комплектующих. Кроме того, определяется необходимость в проведении исследовательских работ и составляется программа действий по достижению результатов проведенного поискового прогноза.

На следующих этапах определяется перспективное направление проектирования и проводятся работы по определению перспективной технологической подготовке производства. При выполнении этих этапов может применяться ТРИЗ. На каждом этапе в соответствии со сбалансированным прогнозом разрабатывается перспективный план подготовки, переподготовки, повышения квалификации и перемещения специалистов.

Для составления общего плана работ желательно применять **программно-целевой подход**.

Описанная последовательность итеративна и должна корректироваться, уточняя данные перспективного прогноза.

2.2.4.2. Общая последовательность применения законов развития техники сведения

2.2.4.2.1. Прогнозирование потребностей

Прогноз потребностей проводится с использованием соответствующих законов в следующей последовательности:

1. **идеализация потребностей,**
2. **динамизация потребностей,**
3. **согласование потребностей,**
4. **объединение и специализация потребностей.**

Прогноз потребностей начинается с использования **закона идеализация потребностей**, на следующем этапе проводится **динамизация потребностей**,

далее проводится **согласование** выявленных потребностей, на завершающем этапе пытаются **объединить** выявленные потребности, при этом могут выявиться принципиально новые потребности, параллельно выявляются **специализированные** потребности. Прогноз завершается **согласованием всего комплекса потребностей** на всех уровнях. Согласование проводится для разрешения выявленных противоречий. На этом этапе могут использоваться все элементы ТРИЗ для разрешения противоречий. Разработка потребностей проводится с использованием «Методики разработки новых потребностей».

2.2.4.2.2. Прогнозирование на функциональном уровне

Прогноз на функциональном уровне проводится в соответствии с этапом развития исследуемой системы на S-образной кривой, при этом используются законы развития функций в следующей последовательности:

1. идеализация функций,
2. динамизация функций,
3. согласование функций,
4. перехода к МОНО- или ПОЛИфункциональности.

Прогноз начинается с использование закона **идеализация функций**, на следующем этапе проводится **динамизация функций**, далее проводится **согласование** выявленных функций. Завершающий этап – **переход к моно и полифункциональности**, при этом осуществляют **свертывание** или **развертывание функций**. Прогноз завершается **согласованием всего комплекса функций** на всех уровнях. Согласование проводится для разрешения выявленных противоречий. При этом могут использоваться указанные ранее инструменты ТРИЗ.

2.2.4.2.3. Прогнозирование на уровне систем

Прогноз может проводить для **вновь создаваемых систем** и для развития **существующих систем**.

2.2.4.2.3.1. Прогноз вновь создаваемых систем

Прогноз вновь создаваемых систем осуществляется с помощью **законов организации технических систем**. Основная цель – разработать **жизнеспособную систему**, которая отвечает всем требованиям **системности**. Для обеспечения системности используются следующие законы:

1. полнота частей системы;
2. избыточность частей системы;
3. наличие связей между частями системы и системы с надсистемой;
4. минимальное согласование частей и параметров системы.

Первоначально подбирают все необходимые **части системы** (подсистемы) для обеспечения ее жизнеспособности. Для этого использую **закон полноты частей системы**. Далее определяют все необходимые **элементы** для обеспечения работоспособности каждой из частей (определяются подсистемы и подподсистемы), используя **закон избыточности** частей системы. На следующем этапе обеспечиваются все необходимые вещественные, энергетические и информационные связи системы с надсистемой и окружающей средой, и связи системы с ее подсистемами. При этом используют **закон наличия связей**. На завершающем этапе проводится **согласование** элементов и связей, для разрешения всех противоречий. После завершения этой работы желательно использовать законы эволюции технических систем.

2.2.4.2.3.2. Прогноз развития существующих систем

Прогноз развития существующих систем осуществляется с помощью **законов эволюции технических систем**. Структура этой группы законов представлена на

рис. 3.1. Основная цель – разработать систему, как можно ближе приближающейся к *идеальной*. Для обеспечения идеальной системы используются следующие основные законы:

1. **Увеличение степени идеальности.**
2. **Увеличение степени динамичности.**
3. **Согласования.**
4. **Переход системы в надсистему.**

Эти законы имеют подзаконы и механизмы их исполнения.

Рекомендуется следующая последовательность использования законов:

1. **Увеличение степени динамичности,**
2. **Согласование,**
3. **Переход системы в надсистему.**
4. **Согласование,**
5. **Увеличение степени идеальности,**
5. **Согласование,**

Согласование, как и раньше, проводится после каждого изменения системы или может проводиться после всех изменений.

Изменения могут вестись:

- *без изменения* основной сущности системы,
- *с частичным изменением* сущности системы,
- *со значительным изменением* сущности системы.

В первом случае изменения не затрагивают рабочего органа, выполняющего главную функцию системы. Изменяются вспомогательные части.

Во втором случае изменения могут затрагивать и рабочий орган, но основной принцип его действия остается неизменным.

В третьем случае изменениям подвержен основной принцип работы рабочего органа, т.е. изменениям подвержена главная функция системы.

Первоначально увеличивают **степень динамичности системы**. Это сложный закон, имеющий многоуровневую структуру подзаконов и механизмов их исполнения. При этом используют подзаконы:

- **Перехода системы на микроуровень,**
- **Увеличения степени вепольности,**
- **Информационной насыщенности.**

Напомним, что закон перехода на микро уровень включает

- *Изменения масштабности*
- *Изменения связанности*
- *Переход к более сложным и энергонасыщенным формам.*

Каждый из указанных законов осуществляется с помощью своих механизмов.

Изменение степени динамичности начинают со структуры системы путем перехода на микро уровень. Одновременно увеличивают степень вепольности. Затем постепенно используются другие законы. Часто эти изменения проводятся комплексно.

После проведения динамизации выполняют **согласование** измененных частей с системой и подсистемами, системы с надсистемой и окружающей средой.

На следующем этапе осуществляют переход в надсистему и снова проводят согласование.

Когда эти изменения проведены, то проверяется насколько система стала идеальнее. При необходимости используется непосредственно **закон увеличения степени идеальности** и снова проводят **согласование**.

Согласование может проводиться, и после выполнения всех изменений по всем законам.

2.2.4.2.3.3. *Общее направление развитие систем*

Эта завершающий этап в прогнозировании, позволяющий определить развитие системы в пространстве и максимально использовать ресурсы системы, надсистемы и окружающей среды.

2.2.5. Пример экспресс-прогноза

Приведем пример экспресс-прогноза на развитии процесса дуговой сварки.

Первоначально проведем прогноз по стандартам на решение изобретательских задач. Обратимся к алгоритму изображенному на рис. 2.

Сварка - относится к системам на изменение. Следовательно, следует использовать 1-3 классы стандартов. Так как эта система вепольная, то следует использовать только 2 и 3 классы.

Применение 2 класса было продемонстрировано в моно-би-полиполевых переходах.

Рассмотрим развитие систем по третьему классу.

Образование бисистем - использование двух электродов.

Один из электродов может быть неплавящийся (образует только дугу), а другой плавящийся - дает необходимый металл.

Переход к полисистемам - три и более электродов. Электроды могут быть одинаковые и на них подаваться одинаковый ток. Этим можно добиться большей производительности - сваривается более широкий шов⁴ или одновременно наплавляется большая площадь на металл. Electroдами, сделанными из разных составов металлов, можно создавать различные свойства шва, комбинируя их в необходимой последовательности.

Если на электроды подавать различные напряжения и опускать их на различную глубину⁵, то можно более эффективно обрабатывать швы большой глубины. Располагая электроды по всей протяженности шва на расстоянии, меньшем, чем тепловое пятно и подсоединив каждый из электродов к своему источнику питания. Можно не перемещать электрод, последовательно включается следующий⁶. Таким образом, дуга движется, а электроды стоят на месте.

Два электрода могут быть свернуты в один⁷.

Как мы уже описывали раньше таким электродом можно делать шов более широкий или более глубокий. Свертывание многих электродов в один осуществляется в порошковом электроде, где могут быть собраны вместе материалы многих электродов. Такой электрод представляет собой оболочку в виде трубки, в которой находится порошкообразный металл.

Если провести функциональное свертывание, то должна остаться только главная функция - соединение с помощью расплавления, т.е. должен быть осуществлен непосредственно нагрев.

Это можно осуществить, если тепло передавать с помощью тепловой трубы. При этом источник нагрева может быть любым, в том числе и дуга, расположенная в удобном месте. Тепло от этой дуги будет полностью использоваться для разогрева шва. Труба может быть расположена по всему шву и ее не нужно будет двигать. С помощью тепловой трубы можно будет регулировать температуру и время нагрева и остывания, обеспечивая необходимые свойства шва. Тепловую трубу можно использовать и в традиционной дуговой сварке. Тогда можно будет эффективнее использовать тепло дуги и расплавленного металла. Рассеянное тепло можно собирать тепловой трубой и передавать его на еще не разогретые участки, предварительно нагревая их и регулировать тепло шва, как было описано.

⁴ А.с. № 829 794.

⁵ А.с. № 546 445.

⁶ А.с. № 285 740.

⁷ А.с. № 1047634.