

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Локтионова Оксана Геннадьевна

Должность: проректор по учебной работе

Дата подписания: 12.11.2023 18:37:36

Уникальный программный ключ:

0b817ca911e6668abb15a5d426d39e5f1c11eab0f73e943df4a48511da36a089

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования

«Юго-Западный государственный университет»
(ЮЗГУ)

Кафедра «Космического приборостроения и систем связи»



ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАЗВИТИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ И КРИТЕРИИ КАЧЕСТВА ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ

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

Закономерности развития технических систем и критерии качества технических решений: 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. – 17 с.: –. Библиогр.: с. 17.

Методические указания к практическому занятию содержат описание основных законов развития технических систем. Рассмотрены фундаментальный закон развития технических систем и его сопоставление с основными показателями изобретательской деятельности, закон увеличения степени идеальности системы, понятие и основные требования к идеальной системе, закон согласования ритмики частей системы, закон перехода с макроуровня на микроуровень. 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 15039. Формат 60x841/16.
Усл. печ. л. 0,99. Уч.-изд. 0,89. Тираж 100 экз. Заказ 488. Бесплатно.
Юго-Западный государственный университет.
305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94

Содержание

1. Фундаментальный закон развития технических систем	4
2. Закон увеличения степени идеальности системы	9
3. Закон согласования ритмики частей системы	12
4. Закон перехода с макроуровня на микроуровень	13
5. Вопросы для самопроверки	16
Литература	17

1. Фундаментальный закон развития технических систем

Практически все рассмотренные выше задачи допускали несколько решений. Одни из них мы признавали неэффективными, другие эффективными. Однако чётких критериев эффективности решений мы не приводили, довольствуясь оценками с позиций «здравого смысла». Для сравнительно простых задач, где недостатки и преимущества того или иного решения просматриваются вполне отчётливо, такие оценки можно считать достаточно надёжными. Но и в этом случае достаточно надёжны лишь оценки уже имеющихся вариантов решения. А может быть все эти варианты весьма далеки от оптимального, которого мы ещё не нашли? Как быть в этом случае?

Как отличить сильное и эффективное решение от слабых и малоэффективных? Эта проблема только на первый взгляд кажется простой. Дело в том, что на принципиальном уровне и сама задача, и её возможные решения в достаточной степени абстрактны. Они освобождены от технических деталей, а потому преимущества и недостатки того или иного решения далеко не всегда очевидны. Чтобы оценить достоинства и недостатки того или иного решения часто приходится домысливать способы их технической реализации. Но и этого ещё недостаточно. Необходимо ещё иметь критерии сравнения, выделять из них главные и второстепенные. А это можно сделать, только зная основные закономерности развития технических систем.

Развитие технических систем, как и любых других систем, подчиняется общим законам диалектики. Однако, применительно к техническим системам они имеют свою специфику. Если рассматривать процесс развития любого класса технических систем от момента зарождения и до вытеснения их системами принципиально нового типа, то такой процесс в общем случае можно отобразить S-образной кривой (рисунок 1). Кривая показывает, как меняются во времени основные технико-экономические показатели систем.

Конечно, у различных конкретных систем имеются свои особенности, но все они имеют три характерных участка в своём развитии, выделенные на рисунке штриховыми линиями. Участок I определяет начальную стадию развития системы, на которой её основные характеристики меняются медленно. Масштабы производства таких систем ещё незначительны, работы по их совершенствованию ведутся малыми силами, а в самой системе ещё много «белых пятен», отсутствуют инженерные методы расчётов и т. п. Затем следует участок II – быстрое совершенствование системы, одновременно сопровождаемое существенным расширением масштабов производства.

Главные показатели

системы

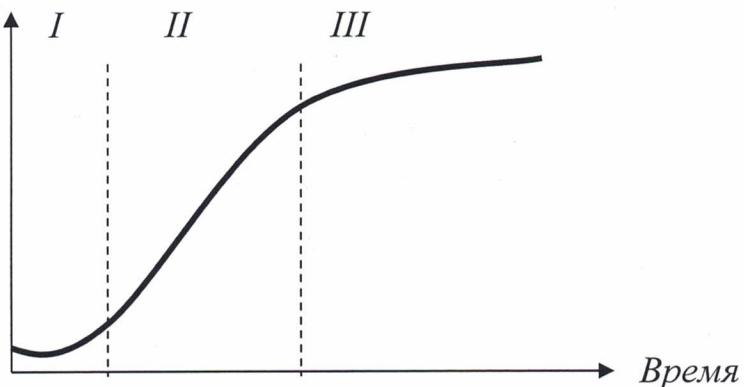


Рис. 1. Обобщённый график развития технических систем

Но с какого-то момента резервы развития, заложенные в самой концепции данной системы, оказываются практически исчерпанными, и, хотя сами системы достигают к этому моменту своего максимального развития и по техническим характеристикам, и по масштабам производства, и по числу специалистов, работающих над их дальнейшим совершенствованием, и по вкладываемым в эти работы материальным средствам, но подавляющее большинство таких усовершенствований, обходясь всё дороже, приносят всё менее ощутимый технический эффект, т. е. практически не отражаются на основных технических показателях системы. Это и есть главный признак наступления «старости» в развитии данной системы (участок III кривой). И здесь возможны два варианта дальнейшего развития системы. Или она постепенно вытесняется принципиально новой системой, удовлетворяющей те же потребности, но на более высоком уровне (например, замена граммофонных звуковых записей магнитными, следом за которой происходит постепенное вытеснение магнитных записей лазерными, причём, одновременно, аналоговый способ записи заменяется цифровым), или, если к тому времени конкурирующей новой системы не создано, наступает относительная стагнация. Технические показатели системы изменяются незначительно. Например, велосипеды не были вытеснены ни мотоциклами, ни мотороллерами, ни мопедами, а их основные технические характеристики и конструкция более чем за сто лет практически не изменились (основное развитие шло в сторону специализации велосипедов — спортивных, трековых, туристских, горных, детских и т. п., а наиболее массовые дорожные велосипеды практически не изменились). Более того, возможен и некоторый спад технических характеристик по сравнению с рекордными достижениями, что диктуется уже экономическими факторами. Например, скорости современных парусных судов

существенно отстают от скоростей лучших парусных судов эпохи парусного флота (исключая спортивные гоночные малотоннажные яхты, которых во времена парусного флота и не существовало).

Весьма интересно сопоставить рассмотренную кривую жизненного развития технической системы с показателями изобретательской деятельности по развитию данной системы. Такое сопоставление приведено на рисунке 2.

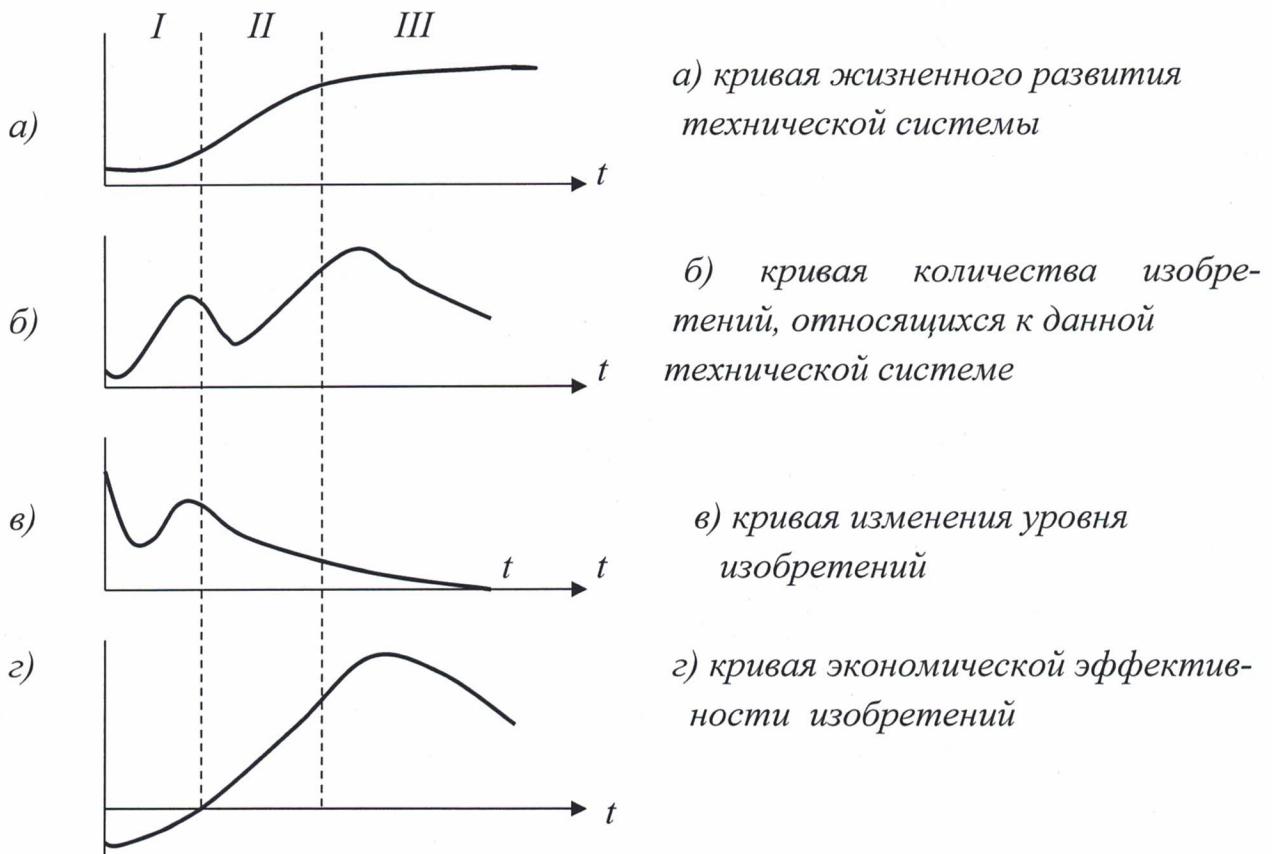


Рис. 2. Сопоставление кривой жизненного развития технической системы с показателями изобретательской деятельности

Верхняя кривая (рис. 2 а) воспроизводит выше рассмотренную кривую жизненного развития технической системы. На остальных кривых (рис. 2 б, в и г) в том же масштабе времени показаны соответственно количество изобретений, относящихся к данной технической системе, уровень этих изобретений и их экономическая эффективность. Из них следует, что кривая интенсивности изобретательской деятельности, относящейся к развитию данной технической системы, имеет два пика. Первый пик совпадает во времени с периодом перехода к массовому внедрению данной системы, когда новая перспективная техническая система привлекает внимание большого числа

изобретателей. Затем, по мере технического совершенствования этой системы, следует некоторый спад изобретательской деятельности.

Но, когда данная техническая система уже начинает устаревать, следует второй ещё более мощный пик изобретательской деятельности. Он объясняется стремлением продлить «жизнь» данной технической системы. В этом оказываются заинтересованы мощные финансово-экономические силы, связанные с производством данных систем, продвижением их на рынок и эксплуатацией. И только когда уже начинает набирать силы новая техническая система, приходящая на смену старой, интенсивность изобретательской деятельности по ней спадает уже окончательно. К этому времени старая система доведена до технического совершенства и дальнейшее совершенствование возможно лишь в области технологии её производства.

Кривая, показывающая уровень изобретений, представленная на рис. 2 (в), по своему характеру практически обратна предыдущей. Действительно, первые изобретения, создающие основу принципиально новой технической системы, всегда соответствуют высокому уровню (не ниже четвёртого). По мере создания первых экспериментальных и опытных образцов новой системы уровень изобретений быстро снижается и лишь в период промышленного освоения и детальной технической проработки системы уровень изобретений вновь растёт и образует небольшой пик. При этом изобретения высокого уровня связаны здесь не столько с конструктивными характеристиками самой системы, сколько с созданием и совершенствованием технологии её промышленного производства. Далее следует уже неуклонное снижение уровня изобретений, поскольку становление самой технической системы и технологии её промышленного производства в основном завершено и остаётся лишь возможность всё более мелких усовершенствований. Но именно на этот период приходится пик экономической эффективности от внедрения изобретений. Это объясняется тем, что к этому времени производство данных технических систем достигает максимального объёма и даже мелкие усовершенствования производства ввиду больших объёмов производства приносят большую экономическую выгоду. В начальный же период, когда новая техническая система только зарождается, а изобретения имеют самый высокий уровень, их экономическая эффективность отрицательна. Действительно, создание экспериментальных и опытных образцов системы, реализующих эти изобретения, требуя существенных экономических затрат, не приносят никакого дохода. И такое положение сохраняется вплоть до освоения промышленного выпуска этих систем. Лишь реализация первых промышленных партий новой системы позволяет окупить первоначальные затраты и по-

лучить доход, уровень которого возрастает по мере наращивания объёмов производства и реализации данной системы.

Анализ этих кривых весьма поучителен и полезен.

Во-первых, прогнозируя развитие новой технической системы на её начальном этапе (стадия I) следует ориентироваться не столько на её потенциальные возможности, сколько на состояние предшествующей ей технической системы. Если предшествующая система ещё не достигла третьей стадии, то каковы бы не были преимущества новой системы, она не будет внедряться до тех пор, пока не начнет «вымирать» предшествующая система. Причём причинами этого «вымирания» чаще всего являются не её техническая отсталость, а экономические, экологические или даже общественно-политические причины.

Во-вторых, прогнозы о выходе системы на третью стадию и начале её «вымирания» чаще всего или совсем не сбываются или сбываются с большим запаздыванием (исключение составляет, пожалуй, лишь современное развитие информационных и электронно-вычислительных систем, где смена поколений происходит даже быстрее, чем это прогнозировалось). Это объясняется большой инерцией, которую набирают любые массовые технические системы в своём развитии. Слишком большие и мощные промышленно-экономические группы оказываются заинтересованными в «продлении жизни» технической системы в период приближения её развития к третьей стадии.

В-третьих, такой анализ показывает несовершенство современной патентной системы и существующих систем экономического стимулирования изобретательской деятельности, которые не только не стимулируют изобретений высоких уровней, но делают такие изобретения заведомо убыточными для изобретателей, и поощряют мелкие непринципиальные изобретения низших уровней, направленных на «продление жизни» уже технически устаревших систем.

Если же проследить развитие нескольких сменяющих друг друга систем, то можно выявить ещё одну важную закономерность: новая система, сменяющая старую, как правило, не просто является более совершенной технически или базируется на новой элементной базе, но и помимо функций старой системы выполняет другие функции, которые либо отвечают вновь возникшим потребностям, либо выполнялись другими системами. Таким образом, в функциональном смысле старая система становится одной из функциональных подсистем новой системы.

Рассмотренная закономерность носит фундаментальный характер и её можно рассматривать как фундаментальный закон развития технических си-

стем. Кроме этого наиболее общего закона в ТРИЗе рассматриваются и другие законы развития технических систем.

2. Закон увеличения степени идеальности системы

Если проследить развитие определённого класса технических систем на протяжении жизни не одного поколения, а многих, сменяющих друг друга поколений технических систем примерно одного назначения, другими словами, проследить историю развития какой-либо узкой области научно-технического прогресса, то окажется, что для каждой такой области можно выделить главное направление развития систем данного назначения. Такое направление называют *главной магистралью развития* данных систем. Каждое конкретное новое техническое решение может в различной степени соответствовать этой главной магистрали развития. Некоторые из них могут вообще уводить в сторону от главной магистрали развития. Такие решения являются тупиковыми. Однако выявить их далеко не просто. Очень часто, если история развития данных систем прослежена недостаточно глубоко и широко, то направление главной магистрали развития может быть определено неверно, поскольку оно часто маскируется другими направлениями, которые в какой-то исторический период или в какой-то стране выходит на первый план. Например, после второй мировой войны на протяжении достаточно длительного времени (не менее 25 лет) в безусловно лидирующей в те годы в области автомобилестроения стране – Соединенных Штатах Америки легковое автомобилестроение развивалось в основном по пути увеличения вместимости и скорости легковых автомобилей. Это требовало установки на них всё более мощных (а значит, и более тяжёлых и габаритных) двигателей. Большие скорости, в свою очередь, диктовали увеличение прочности кузова, подвески, узлов трансмиссии, мощности тормозной системы, что увеличивало общую массу автомобиля и, в свою очередь, требовало дальнейшего наращивания мощности двигателя. Дешёвый бензин, хорошие дороги и высокий уровень жизни населения долгое время позволяли это делать. И для американских автомобилестроителей непрерывное наращивание скорости и мощности двигателей легковых автомобилей считалось главной магистралью развития легковых автомобилей. Но, как показала история развития легковых автомобилей в других странах, да и в самих Соединенных Штатах в более поздний период, это направление оказалось тупиковым. По мере увеличения парка легковых автомобилей, громоздкие неповоротливые автомобили заполонили все улицы городов, непрерывно возникали многочасовые пробки, средняя скорость движения автомобиля в крупном городе снизилась почти до

скорости пешехода, от автомобильных выхлопов нечем было дышать, все крупные города Америки погрузились в тяжелый смог, бензин непрерывно дорожал. И только тогда американцы признали ошибочность своего направления и последовали за европейскими и японскими автомобилестроителями, которые практически с самого начала массовой автомобилизации основным направлением развития считали экономичность, экологичность и практическое удобство автомобиля. Лишь в спортивных автомобилях скорость выступала на первый план.

Как же всё-таки определить главную магистраль развития и не спутать её с другими временными или тупиковыми направлениями? Первый рецепт – увеличение глубины и широты охвата истории развития данной узкой области техники, как мы видели, может давать сбои. Более надёжным критерием является степень приближения к идеальной системе.

Идеальная техническая система – это такая гипотетическая система, масса, объём и энергопотребление которой стремятся к нулю, а производительность и быстродействие – к бесконечности при сохранении всех выполняемых функций.

Образно говоря, это тот случай, когда сама система практически отсутствует, но все её функции выполняются. Конечно, реально такие системы неосуществимы. Для наглядности можно привести пример такой идеальной системы, взятый из фантастического произведения известного советского фантаста Александра Беляева «Ариэль». Герой произведения Ариэль мог усилием воли заставлять все молекулы своего тела двигаться не беспорядочно (как движутся все молекулы при температуре, отличающейся от абсолютного нуля), а в одном заданном направлении, благодаря чему Ариэль мог летать без каких-либо летательных аппаратов и без дополнительных затрат энергии в любом желаемом направлении. Здесь идеальная система представлена в чистом виде: никакой материальной летательной системы нет, а функции её выполняются, причём без дополнительных затрат энергии (затраты энергии на поддержание жизни живого организма конечно необходимы, но дополнительных затрат энергии, связанных с осуществлением полёта, не производится). Конечно, в чистом виде идеальные технические системы возможны только в фантастике. Но, отталкиваясь от понятия идеальной системы, можно сформулировать те свойства или требования, которые приближают реальную систему к идеальной. Эти требования таковы:

1. В идеальной технической системе (ИТС) размеры самой системы приближаются к размерам того объекта, на который направлено действие этой системы, а масса самой системы приближается к нулю (во всяком случае, должна составлять малую долю от массы того объекта, на который

направлено действие системы). В транспортной системе, например, её размеры должны приближаться к размерам перевозимого груза, а её масса составлять малую долю от массы перевозимого груза. Вот почему стремятся увеличивать грузоподъёмность грузовых автомобилей и водоизмещение танкеров. Чем они больше, тем лучше выполняется данное требование. С этих же позиций размеры станков, предназначенных для обработки каких-либо изделий, должны приближаться к размерам этих изделий (что сейчас очень далеко от реализации).

2. В ИТС к.п.д. (коэффициент полезного действия) приближается к единице, а расход энергии к нулю. Естественно, что в энергетических системах (предназначенных для преобразования одного вида энергии в другой или одного вида движения в другой) речь должна идти о к.п.д., а в системах, предназначенных для обработки и преобразования вещества или информации, – о минимизации расхода энергии.

3. В ИТС время цикла действия, для которого она предназначена, должно приближаться к нулю. Здесь речь идёт о быстродействии и производительности системы, которые необходимо максимизировать.

4. В ИТС все её части и элементы непрерывно выполняют полезную работу в полную меру своих расчётных возможностей (отсутствуют простой отдельных частей и элементов системы, холостые и возвратные ходы и т. п.).

5. ИТС должна функционировать без остановок, ремонтов и профилактического обслуживания бесконечно долго (во всяком случае, до своего полного морального старения, которое в данном случае будет определяться только тем, что функции, выполняемые данной системой, будут уже не нужны). В этом пункте речь идёт о надёжности системы. Система должна быть настолько надёжной, чтобы не требовать ухода и ремонта за весь расчётный период её эксплуатации.

6. ИТС функционирует сама (без человека или при его минимальном участии). Здесь речь идет о степени автоматизации системы. Она должна быть по возможности высокой.

7. ИТС не должна оказывать отрицательного воздействия на окружающую среду, в том числе и на человека. Здесь речь идёт об экологичности и безопасности технической системы. Она должна быть полностью безопасна для людей и наносить минимальный вред окружающей среде.

Как видим, требования к ИТС разнообразны и весьма жёсткие. Для систем различного назначения на первый план могут выступать различные из перечисленных требований. Расставить приоритеты здесь помогает определение главной магистрали развития и, в то же время, сами эти требования помогают чётче определить эту главную магистраль развития. Несмотря на

возможные зигзаги в истории развития той или иной технической системы, которые могут быть вызваны конкретными историко-экономическими причинами, любая техническая система в глобальном аспекте развивается в сторону повышения степени идеальности и знание критериев идеальности, перечисленных в этих семи пунктах, очень помогает не только выявить главную магистраль развития конкретных технических систем, но и при анализе возможных технических решений отделять сильные (эффективные) решения от слабых. В связи с этим в ТРИЗ введено родственное понятие – идеальный конечный результат (ИКР) искомого решения изобретательской задачи. Главным требованием к ИКР является требование выполнения заданной функции без дополнительных затрат материальных (дополнительное техническое устройство) энергетических (для приведения этого устройства в действие) и других ресурсов. Т. е. полученное техническое решение должно обеспечивать автоматическое выполнение заданной функции без дополнительных затрат ресурсов (*само* обеспечивать выполнение функции, не требуя ни дополнительного управления, ни дополнительных устройств, ни дополнительной энергии). Все остальные требования к ИКР полностью совпадают с соответствующими требованиями к ИТС.

3. Закон согласования ритмики частей системы

Необходимым условием принципиальной жизнеспособности технической системы является согласование ритмики всех частей системы.

В работе любых систем проявляются какие-то ритмы. В механических системах они задаются частотой вращения двигателя, в информационных системах – частотой специальных синхронизирующих импульсов, в радиосвязи и радиолокации – частотой несущего электромагнитного сигнала. Чем сложнее система, тем богаче её ритмика, поскольку каждая часть системы или её функциональная подсистема может характеризоваться своими ритмами. Это характерно не только для технических, но и для природных и биологических систем. Если взять такую сложную систему, как человек, то его мозг (центральная нервная система) имеет свою ритмику, обусловленную длительностью нервных импульсов и скоростью их прохождения по нервным волокнам, ритмикой кровеносной системы управляет сердце, а от неё зависит и дыхательный ритм, пищеварительные органы имеют свою ритмику, а весь организм подчиняется суточному и годовому ритмам, диктуемым внешними условиями. Если эти ритмы не будут согласовываться между собой, то организм будет нежизнеспособен. Для живых организмов это очевидно. Для технических систем это менее очевидно. Некоторые простые технические си-

стемы могут существовать и без согласования ритмов работы отдельных частей. Но такие системы обязательно будут неэффективными (характеризоваться низкими к.п.д., производительностью и надёжностью). Согласование ритмики отдельных частей отнюдь не означает жёсткую взаимную зависимость ритмов работы отдельных её частей. Например, если выходной вал двигателя автомобиля жёстко связать с ведущими колесами (без коробки передач или вариатора), то на хорошей дороге такой автомобиль при большом расходе топлива не сможет развить высокую скорость, а на плохой дороге или на подъёме будет глухнуть. Таким образом, закон согласования ритмики должен учитывать не только внутренние взаимосвязи между частями системы, но и влияния на систему внешних факторов.

4. Закон перехода с макроуровня на микроуровень

Этот закон является одним из наиболее эффективных путей приближения к идеальной системе. Не случайно главной магистралью развития электронных систем является микроминиатюризация. Уже сейчас технология микроэлектроники достигла субмикронного уровня. Широким фронтом ведутся исследовательские работы в области молекулярной электроники и нанотехнологии, которые позволяют ещё на несколько порядков уменьшить размеры и энергопотребление электронных компонентов, что позволит и дальше увеличивать степень интеграции, быстродействие и надёжность электронных систем, одновременно снижая их энергопотребление.

Но переход на микроуровень характерен не только для электронных систем, но и для многих других технических систем. Вместо механической обработки материалов и изделий всё шире применяется химическая, ионная и плазменная обработка, обработка квантами электромагнитного излучения (лазерная) и т. п. Одним из новейших и бурно развивающихся современных направлений научно-технического прогресса является развитие *нанотехнологий и нанотехники*, которые определяют переход на микроуровень не только электронных, но и других систем разнообразного назначения. Нанотехнология представляет собой технологические процессы, базирующиеся на манипулировании отдельными атомами и молекулами вещества. По мнению многих экспертов именно нанотехнология является путём к третьей научно-технической революции, которая уже начинает разворачиваться. Уже в конце прошлого столетия были изобретены сканирующие микроскопы (туннельный и атомно-силовой), имеющие разрешение, сопоставимое с размерами отдельных атомов, которые позволяют расшифровывать атомную структуру сложных молекул (в том числе структуру ДНК и составляющих их геномов), а

также захватывать и переставлять на «нужные» места отдельные атомы. Это открывает перспективы по атомной сборки любых веществ материалов и изделий. Основная проблема на этом пути – низкая производительность. Ведь даже в микроскопическом макрообъекте – миллиарды атомов. Для решения этой проблемы необходимо создать самовоспроизводящегося наноробота – наноассемблер, который сможет осуществлять по атомную разборку и сборку любых объектов, в том числе и самого себя. Это открывает головокружительные перспективы кардинальной перестройки всей экономики. Ведь таким образом можно будет создавать в неограниченном количестве точные копии (с точностью до каждого атома) любых объектов, как органических (пищевые продукты) так и неорганических. Отпадает необходимость в сельском хозяйстве и агропромышленном комплексе, полностью перестраивается промышленность и, безусловно, это повлечёт за собой коренные социальные изменения всей человеческой цивилизации. Конечно, это задача колossalной сложности. Однако обнадёживает то, что природа с этой задачей уже справилась: каждая живая клетка представляет собой непрерывно работающий «nanoцех», где по программе, записанной в ДНК осуществляется автоматический синтез сложнейших и разнообразных белковых молекул, из которых построен весь организм. То же самое происходит и в одноклеточных организмах: микробах и бактериях. Поэтому сейчас во всём мире проводятся интенсивные исследования по использованию одноклеточных организмов для синтеза разнообразных органических структур путём целенаправленного изменения генетической информации таких организмов. Ведь самая сложная функция наноассемблера – *репликация*, т. е. воспроизведение самого себя в любом одноклеточном организме осуществляется автоматически (лишь бы окружающие условия были подходящими). Сколько понадобиться времени для решения этой проблемы, сказать сложно. Оптимистические прогнозы, щедро провозглашаемые на заре развития нанотехнологии (в конце прошлого и начале нынешнего века) пока не сбываются. Но уже сейчас стало возможным «ремонтировать» и изменять структуры ДНК, т. е. появился мощный инструментарий для генной инженерии.

Более близким к реализации является другое направление нанотехнологии – получение новых наноматериалов с уникальными свойствами. С помощью нанотехнологии получены *фуллерены*, *нанотрубки* и *графен* – многоатомные молекулы углерода с исключительно прочными связями между атомами.

Самый стабильный фуллерен – это молекула углерода, состоящая из расположенных в виде пустотелой сферы 60 атомов углерода. Поверхность этой сферы представляет собой сферическую поверхность одноатомной тол-

шины, состоящую из сопрягающихся между собой шести и пятиугольных ячеек (как показано на рисунке 5.3 *а*). При этом каждый пятиугольник граничит только с шестиугольниками, а каждый шестиугольник с тремя шестиугольниками и тремя пятиугольниками. Соответственно, межатомные расстояния и в шестиугольниках, и в пятиугольниках одинаковые. Именно за счёт комбинации этих шести- и пятиугольников образуется сферическая поверхность (как в футбольном мяче). Если использовать только шестиугольники, то вместо сферической поверхности получается цилиндрическая. Именно таким образом получены фуллерены с числом атомов большим 60 – от 70 до 540 (некоторые из них представлены на рисунке 5.3 *б* и *в*). А предельным случаем фуллеренов являются нанотрубки, состоящие из миллионов атомов углерода, образующие трубы со стенками одноатомной толщины и обладающие уникальными свойствами. Нанотрубки имеют диаметр 1-2 нм, а их длина достигает от единиц до сотен микрометров (т. е. в сотни тысяч раз больше диаметра). Причём межатомное пространство в полости этих трубок может заполняться атомами других веществ, придающих таким трубкам новые свойства. Нанотрубки обладают уникальными механическими и электрическими свойствами. Они в 50-100 раз прочнее нити из лучшей стали той же толщины и, при этом, в 6 раз легче её. Электропроводность нанотрубок примерно в 100 раз выше, чем электропроводность серебра и золота (не говоря уже о меди и алюминии). Если удастся разработать технологию выращивания нанотрубок бесконечной длины, то это произведёт революцию в электроэнергетике, электротехнике и электронике, поскольку при том же сечения провода из нанотрубок могут пропускать в сотни раз большую плотность тока, чем медные. А использование нитей и канатов, сплетённых из нанотрубок позволит осуществить идею создания космического лифта для вывода на орбиту любых объектов без использования ракет, а также создавать сверхпрочные и сверхлёгкие композиционные материалы. Иллюстрацией может служить следующий пример: нить диаметром в 1 мм, сплетённая из углеродных нанотрубок, могла бы выдержать нагрузку в 20 тонн!

Более того, при изгибных напряжениях, превышающих некоторые критические значения, нанотрубка не ломается, не рвётся, а в месте изгиба перестраивает свою структуру: некоторые шестиугольники преобразуются в пятиугольники и, при этом, данный участок приобретает лишь одностороннюю электропроводимость, т. е. такая «согнутая» нанотрубка превращается в практически идеальный диод.

Такими же уникальными свойствами обладает графен – плоская структура из таких же шестиугольников одноатомной толщины. Толщина такой «плёнки» много меньше межатомного расстояния всех обычных твёрдых ве-

ществ, поэтому она может без всякого сопротивления проходить сквозь любое твёрдое тело. В то же время межатомные связи атомов углерода в графене намного сильнее, чем в алмазе (если в алмазе все атомы расположены друг от друга на расстоянии 154 нм, то в фуллеренах, нанотрубках и графене – более чем в 100 раз меньших). Области практических применений этих материалов могут быть чрезвычайно широки. Вся проблема состоит в разработке достаточно дешёвых технологий их получения в макроскопических размерах.

Но уже сейчас нанотрубки используются в качестве иглы (кантилевера) сканирующих атомно-силовых и туннельных микроскопах. Кроме того, их уникальные электрические свойства делают их одним из наиболее перспективных материалов наноэлектроники.

Таким образом, основными направлениями развития нанотехнологии и нанотехники являются: наномеханика и наномашиностроение, создание новых наноматериалов, наноэлектроника, в том числе разработка нанотранзисторов и на их основе нанокомпьютеров, нанооптика, в том числе разработка электрически перестраиваемых лазеров, нанобиология и наномедицина. Все эти направления и будут составлять суть грядущей третьей научно-технической революции.

Таким образом, именно переход на микроуровень является наиболее кардинальным средством приближения к идеальной системе. Даже в выше-приведенном фантастическом примере идеальной системы (полёты Ариэля) система работает на микроуровне, управляя направлением теплового движения атомов и молекул, из которых состоит тело человека.

В ТРИЗе помимо этих четырёх законов развития систем рассматриваются ещё несколько, в частности, закон полноты частей системы, закон не-равномерного развития частей системы, закон сквозной энергетической проводимости частей системы и ряд других. Но они не столь универсальны и важны, как вышерассмотренные законы.

5. Вопросы для самопроверки

1. Какие стадии проходит в своём развитии любая техническая система?
2. Провести сопоставление фундаментального закона развития технических систем с соответствующими показателями изобретательской деятельности.
3. Чем объясняется наличие двух максимумов на кривой роста количества изобретений на различных стадиях развития технической системы?

4. Почему падает уровень изобретений по мере развития технической системы?
5. Почему экономическая эффективность изобретений самого высокого уровня, создающих основу новой технической системы, отрицательна?
6. В чём состоит несовершенство существующей системы материального стимулирования изобретательства?
7. Что представляет собой понятие идеальной технической системы?
8. Каким требованиям должна удовлетворять идеальная техническая система?
9. В чём состоит закон согласования ритмики частей системы?
10. В чём состоит закон увеличения степени идеальности системы и как он помогает определить главную магистраль развития системы?
11. В чём заключается закон перехода с макроуровня на микроуровень в развитии технических систем?
12. Привести примеры реализации закона перехода с макроуровня на микроуровень в развитии технических систем.

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.