

Владимир Петров

Израиль,

E-mail: AtrI@bigfoot.com

Закономерность перехода к капиллярно-пористым материалам

Статья представляет собой одну 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 один из механизмов выполнения закона увеличения степени динамичности, входящий в группу законов эволюции технических систем (рис. 1). Этот механизм называется переход к капиллярно-пористым материалам. Он детализирует закон перехода структуры системы с макро- на микроуровень, конкретно закономерность изменения связанности системы (рис. 2).

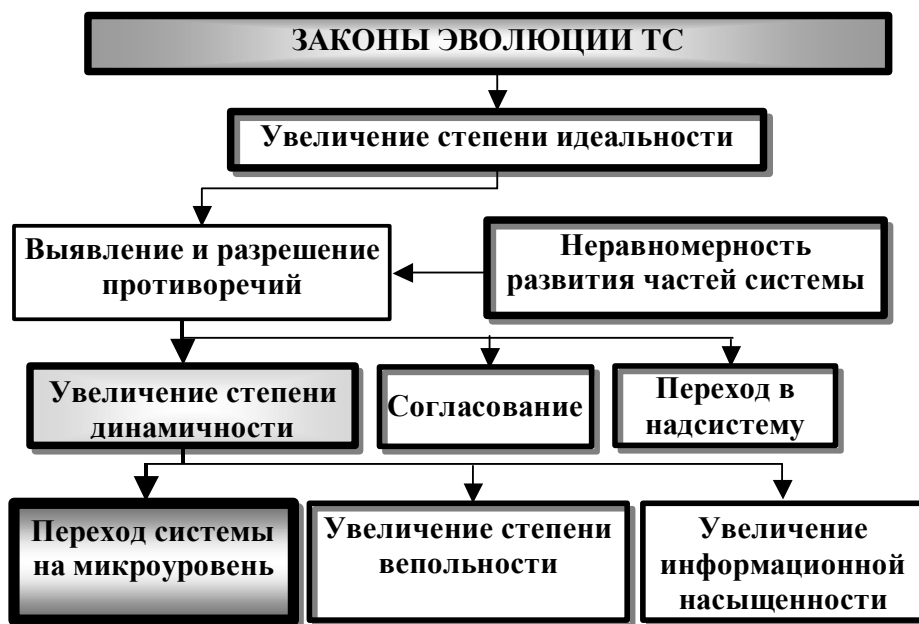


Рис. 1.

СТРУКТУРА ЗАКОНА ПЕРЕХОДА СИСТЕМЫ НА МИКРОУРОВЕНЬ

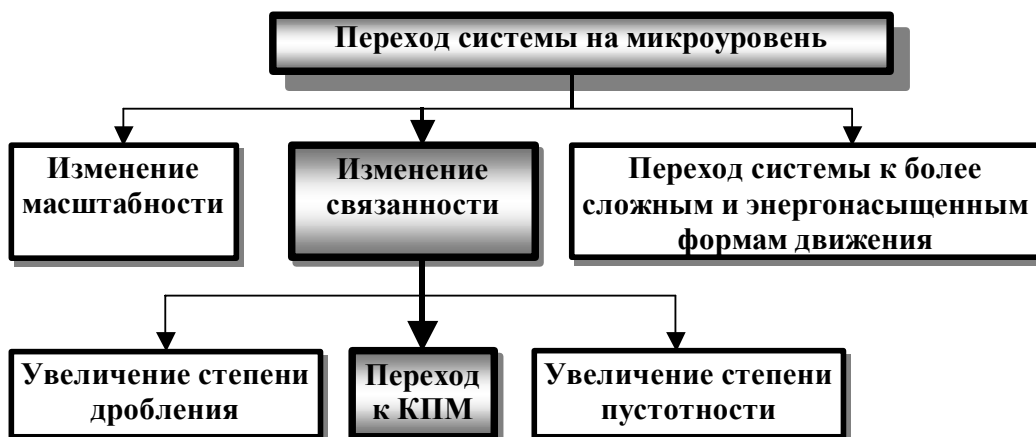


Рис. 2

Переход от монолита (твердого или эластичного) к отдельным частям может происходить и по закономерности, представленной Г.Альтшуллером в стандарте 2.2.3 и названной им переходом к капиллярно-пористым веществам.

Приводим эту закономерность в более развернутом виде.

Сначала опишем крупные этапы этой закономерности (рис. 3), а затем более детальные переходы (рис. 4). В общем виде эта закономерность показана на рис. 5.

ПЕРЕХОД К КАПИЛЯРНО-ПОРИСТЫМ МАТЕРИАЛАМ (КПМ)

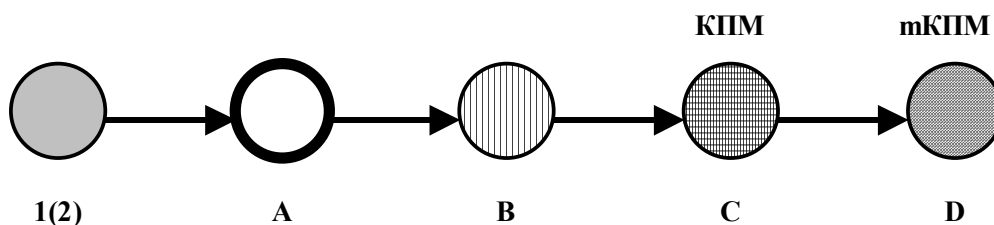


Рис. 3

Где:

- 1 - монолит в твердом состоянии,
- 2 - монолит в гибком состоянии,
- A - вещество с одной полостью,
- B - вещество со многими полостями,
- C - КПМ,
- D - mКПМ,
- КПМ - капиллярно-пористый материал,
- mКПМ - микро КПМ.

Итак, на рис. 3 представлена закономерность перехода к капиллярно-пористым материалам (КПМ):

1. Сплошное вещество, *твердое* (1) или *эластичное* (2).

2. **Сплошное вещество с одной полостью** - полость с оболочкой (А).
 3. **Сплошное вещество со многими полостями** (ячейками) перфорированное вещество или полость, разделенная перегородками (В).
 4. **Капиллярно-пористое вещество - КПМ** (С).
 5. **КПМ на микроуровне (D)** - цеолиты, силикагели и биологические мембраны (на схеме обозначены **мКПМ**).
- Переходы от (А) к (В), от (В) к (С) и от (С) к (D) достаточно схожи и

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОЛОСТЕЙ

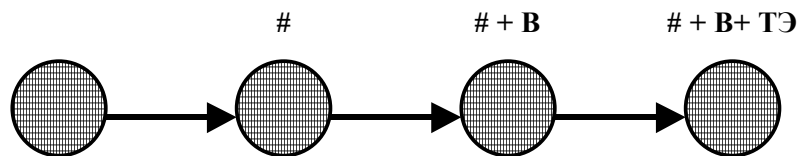


Рис. 4

Где:

- # - структура полости,
- В - вещество,
- ТЭ - технологический эффект.

представляют собой следующую закономерность использования полостей: **полость - структурированная полость (полость, имеющая определенную структуру), - полость, заполненная веществом - воздействие на введенное в полость вещество полями с использованием различных технологических эффектов ТЭ** (рис. 4).

Теперь можно описать более детально последовательность перехода к капиллярно-пористым веществам и рассмотреть особенности использования полостей на этапах (А), (В), (С) и (D), представленную на рис. 5.

На этапах (А) и (В) используются **макрополости**, а на (С) и (D) - **капилляры**. Причем (А) от (В) и (С) от (D) отличаются **размерами** полостей и капилляров, соответственно. Общая закономерность при движении от (А) к (D) и на каждом этапе в отдельности - **количество полостей увеличивается, а их размеры уменьшаются**. Эта закономерность условно показана в переходе (А1)-(А4).

Для этапа (А) цепочка, представленная на рис. 5, может относиться к веществу с **одной** полостью (А1), с **двумя** (А2) и **многими** (А3 - А4) полостями. Структурирование, заполнение веществом и использование технологических эффектов возможно для любого количества полостей, в том числе и одной.

Для этапа (А1) необходимо еще использовать закономерность герметизации полости, которая будет частично рассмотрена ниже.

Пример 1. Примером макрополостей на этапе (А) могут быть для твердого состояния - корабль, а для гибкого - воздушный шар.

Сначала они представляли собой только одну емкость, затем, для увеличения жизнеспособности корабля появились переборки. Количество переборок увеличивалось. Аналогично развивался аэростат. Воздушный шар еще не использовал эту закономерность, поэтому, когда он рвется, то быстро снижается или падает. Описанная тенденция показывает будущее развитие воздушного шара.

Структурирование полостей осуществляется формой перегородок, при этом создается определенная, необходимая для данной функции (например, для создания

устойчивости) форма полости. Очень часто перегородки делаются в форме треугольника или других геометрических фигур, (прямоугольников, шестиугольников), кругов или их частей. Наиболее часто встречаются полости в форме гиперболического параболоида, эллипсоидов, сфер и полусфер, конусов сотовых конструкций больших размеров.

ПЕРЕХОД К КАПИЛЯРНО-ПОРИСТЫМ МАТЕРИАЛАМ (КПМ)

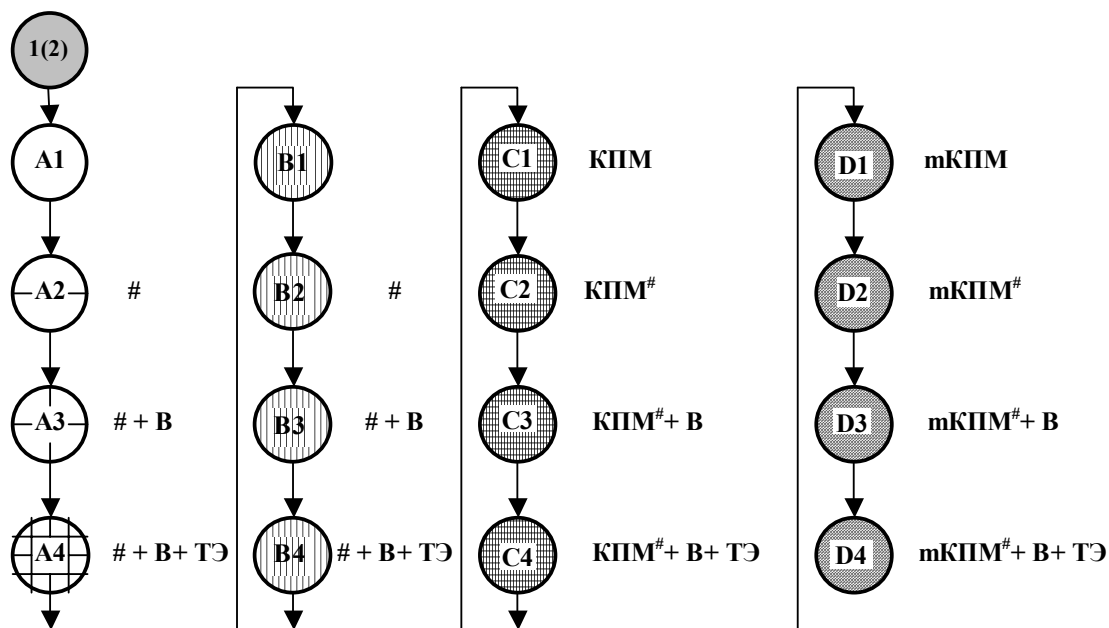


Рис. 5

Где:

КПМ[#] - КПМ со структурированными капиллярами,
mКПМ[#] - mКПМ со структурированными капиллярами.

Часто для получения большей прочности используют и принцип усиления материала по линиям главных напряжений.

Пример 2. Этот принцип "подсмотрен" у природы - так, например, устроены листья растений (рис. 6).

Структурирование полостей используется в строительстве с древних времен. Наибольшее распространение оно имеет сейчас при строительстве спортивных комплексов, выставочных павильонов и т.п.

Основное качество современных покрытий - легкость, и чем больше пролет, тем легче купол. В современных постройках толщина купола измеряется миллиметрами, и получили такие купола название оболочек-скорлуп.



Рис. 6

Пример 3. Примерами таких конструкций является крыша выставочного павильона в Париже, напоминающая лепесток цветка, которая перекрывает без опор пролет более 200 м, крыша выставочного павильона в Ереване, купол цирка в Казани, крыша торгового центра в Челябинске, имеющая вид оболочки двойкой кривизны, покрывающей без единой промежуточной опоры площадь более гектара.

Пример 4. В проектах подводных лодок для очень больших глубин предлагается использовать конструкции, корпус которых представляет собой несколько сопряженных между собой сферических оболочек (рис. 8). Установлено, что такой корпус способен выдержать гидростатическое давление, большее, чем цилиндрический той же массы.

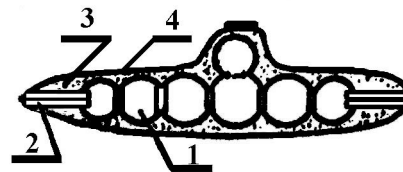


Рис. 8

Полости могут заполняться на этапе (А3) веществом. Это вещество может быть газообразным, жидким, гелем и даже твердым, которое под воздействием различных полей (А4) могут, например, увеличивать объем, а, следовательно, и давление.

При этом используются разнообразные технологические (физические, химические, биологические и геометрические) эффекты.

Среди **физических эффектов** можно использовать: *избыточное давление (пнеumo- и гидро), тепловое расширение, фазовые переходы первого и второго рода*, в том числе **эффект памяти формы, изменение кажущейся плотности магнитной и реологической жидкости в магнитных и электрических полях, действие магнитного поля на ферромагнитное вещество, центробежные силы, взрывчатые вещества, электрогидравлический удар.**

Среди **химических эффектов**: *разложение гидратов и газогидратов, разбухание металлов при разложении жидкого озона, перевод в химически связанный вид, транспортные реакции, перевод в гидратное состояние, растворение в сжатых газах, перевод в гидриды, в экзотермических реакциях, в термохимических реакциях, растворение, разбухание геля.*

Пример 5. В подводных лодках при погружении заполняются водой балластные цистерны, при подъеме на поверхность вода вытесняется воздухом под давлением.

Пример 6. Довольно интересна "конструкция" моллюска наutilus, обитающего в юго-западной части Тихого океана. Раковина, в которой живет моллюск, спиралевидна (рис. 9). Внутри она разделена крыловидными перегородками на несколько камер, в самой последней живет моллюск. Каждая перегородка имеет отверстие.

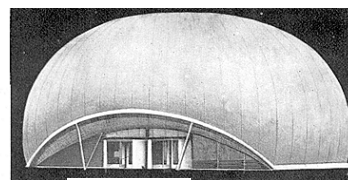
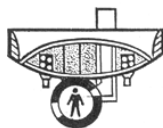
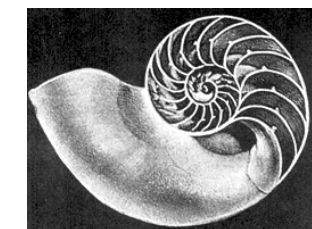


Рис. 10

Рис. 9

Пример 7. Известны конструкции временных построек: выставочных и ярмарочных павильонов, спортивных залов, туристических лагерей, овощехранилищ и пр., выполненные из легкой пленки (рис. 10). Пневматическое напряжение, создаваемое избыточным давлением газа или

жидкости (подобно клетке организма), обеспечивает гибкой герметичной оболочке несущую способность и устойчивость при любых видах нагрузок. Важнейшими преимуществами надувных систем (получивших название пневматически напряженных конструкций) являются экономичность, малый вес, транспортабельность, компактность, быстрота монтажа. Наиболее распространенными формами надувных построек пока являются цилиндрический свод и сферический купол, хотя в природе этот принцип допускает огромное разнообразие форм.

Пример 8. Использование свойства расширения воздуха или каких-либо смесей газов от перегрева создает возможность автоматической регуляции микроклимата в пневматических сооружениях. Эффект улучшения изоляции здесь может дать автоматическое увеличение толщины двухслойного покрытия надувных оболочек в связи с расширением от повышения температуры их наполняющих газов, а также изменение их "теплых" расцветок на "холодные". Используя этот принцип, архитектор Ю.Лебедев предложил проект-идею оригинального туристского городка в жарком климате (рис. 11).

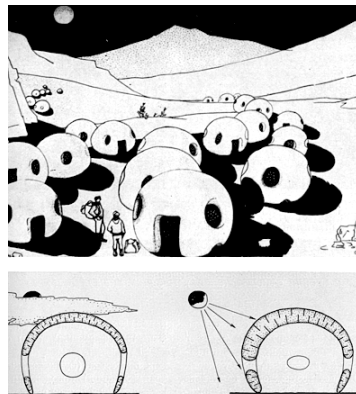


Рис. 11

Пример 9. Дымовая труба, быстро разворачивающаяся в любом месте¹.

Она сделана в виде двух коаксиальных труб, выполненных из тонкого эластичного материала. В исходном состоянии труба скатана в рулон, при необходимости она надувается (воздух подается в пространство между двух труб) и, разворачиваясь, поднимается вверх.

Этап (В) отличается от этапа (А) размером полостей, которые измеряются десятками сантиметров, сантиметрами или миллиметрами, но не метрами.

Пример 10. Полиэтиленовая пленка с маленькими полостями воздуха используется для амортизации.

На этапе В2 ячейкам придают определенную пространственную структуру. Часто такие ячейки представляют собой сферы, эллипсоиды или соты (рис. 12).

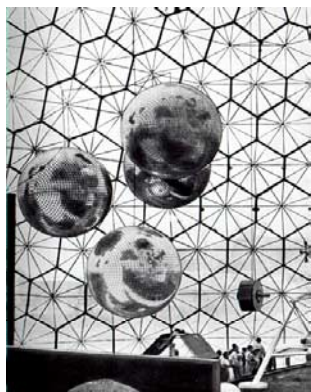


Рис. 12

Пример 11. Сотовые конструкции используются во многих областях строительства и техники. Из них делают перегородки, несущие конструкции и т.д. Такие конструкции достаточно прочные и легкие. Известны теплоизоляторы выполненные в виде сотовых, сферических и эллипсоидных конструкций.

Вещества, вводимые на этапе В3, идентичны веществам, которые использовались на этапе А3.

Пример 12. Для придания большей прочности конструкций, в полости заполняют жидкостями, гелями или легкими пластмассами.

Для этапа В4 характерны те же технологические эффекты, что и на этапе А4, но используются еще более эффективно, вследствие меньших размеров ячеек.

Пример 13. Для разделения двух сред используют уплотнители. Чем больше разность давлений между средами, тем уплотнитель должен выдерживать большее давление. Если конструкцию уплотнителей выполнить в виде материала с большим количеством полостей, например, сферической формы. Эти полости заполняются жидкостью. При увеличении разности давлений, например при погружении в воду, давление через сифон будет передаваться в полости и создавать противодействие, пропорциональное изменению внешнего давления².

¹ Лебедев Ю.С. Архитектура и бионика. Изд. 2-е, перераб. и доп.-М.: Стройиздат, 1977.-221 с., с.164-169.

² Патент В.Петрова.

Этап С представляет собой качественный скачок - переход на микроуровень, т.е. использование **капиллярно-пористых материалов (КПМ)**. Переход к капиллярной структуре изменяет требования к структурированию ячеек С2 и использованию технологических эффектов С4.

В КПМ могут использоваться структуры с открытыми и закрытыми капиллярами различных размеров и направлений.

Наиболее известные из капиллярных эффектов: **ультразвуковой капиллярный эффект, термокапиллярный эффект, электрокапиллярный эффект, геометрический капиллярный эффект.**

Ультразвуковой капиллярный эффект: увеличение в десятки раз скорости движения и высоты подъема жидкости в капиллярах при непосредственном воздействии ультразвука.

Действие **термокапиллярного эффекта** аналогично ультразвуковому капиллярному эффекту - увеличение скорости и высоты подъема жидкости при наличии в капилляре разности температур. Таким образом, термокапиллярный эффект - зависимость растекания жидкости от неравномерности нагрева жидкого слоя. Эффект объясняется тем, что поверхностное натяжение жидкости уменьшается при повышении температуры. Поэтому при различии температур в разных участках жидкого слоя возникает движущая сила растекания, которая пропорциональна градиенту поверхностного натяжения жидкости. В результате возникает поток жидкости в смачивающей пленке. Влияние неравномерного нагрева различно для чистых жидкостей и растворов (например, поверхностно-активных ПАВ). У чистых жидкостей перетекание происходит от холодной зоны к горячей. При испарении ПАВ, уменьшающих поверхностное натяжение, жидкость начинает перетекать от горячей зоны к холодной. В общем случае движение жидкости определяется тем, как изменяется поверхностное натяжение в зоне нагрева от температуры и испарения какого-либо компонента³.

Электрокапиллярный эффект - зависимость поверхностного натяжения на границе раздела твердых и жидких электродов с растворами электролитов и расплавами ионных соединений от электрического потенциала. Эта зависимость обусловлена образованием двойного электрического слоя на границе раздела фаз.

Изменением потенциала можно осуществлять инверсию смачивания - переход от не смачивания к смачиванию и наоборот⁴.

Геометрический капиллярный эффект - это условное название явления (название дали авторы), при котором жидкость течет в сторону меньшего диаметра капилляра. Изменить диаметр капилляра можно, например, если сделать его из материала с эффектом обратимой памяти формы. Тогда можно управлять движением жидкости.

Управлять процессами, происходящими в капиллярах, можно, изменяя **вязкость** и **смачиваемость жидкости** всеми известными способами, в том числе и химическими. Один из них уже был указан ранее - использование ПАВ. Кроме того, можно использовать **ферромагнитную** или **реологическую жидкости** и магнитное или электрическое поля.

³ **Физический энциклопедический словарь.** -М.: Сов. энциклопедия, 1984, с. 755.

⁴ **Указатель физических эффектов и явлений для изобретателей и рационализаторов.** - Обнинск, 1977

Наиболее эффективно применение сочетаний описанных эффектов для управления процессами, происходящими в капиллярах.

Помимо указанных ранее эффектов, в линии перехода к КПМ применяются эффекты, связанные с **сорбцией и хемосорбцией (капиллярная конденсация, фотоадсорбционный эффект, влияние электрического поля на адсорбцию, адсорблЮминисценция и хемолЮминисценция, радикально-рекомбинационная люминисценция, адсорбционная эмиссия, влияния адсорбции на электропроводимость полупроводника), а также осмосом и электроосмосом.**

Следующий качественный этап в развитии линии КПМ - дальнейшее уменьшение пор ячеек материала. Происходит переход пор ячеек КПМ на **микроуровень (D)**. Для этого применяются **цеолиты, силикагели и биологические мембраны**. Дальнейшее развитие будет идти тем же путем: **КПМ на микроуровне определенной структуры (D2), КПМ на микроуровне и вещество, заполняющее поры (D3)**. Таким веществом может быть **жидкость** или **газ** - в зависимости от величины пор. Далее развитие происходит по обычной схеме - **КПМ на микроуровне с заполненным веществом и применением технологических эффектов (D4)**.

Пример 14. Чуть увядшее растение, поставленное в воду, спустя некоторое время расправляет листья и лепестки. Происходит это под давлением жидкости в клетках растения. Вода через биологические мембраны, посредством осмоса, проникает в клетки, увеличивая в вакуолях объем клеточного сока, вакуоли начинают давить на цитоплазму, цитоплазма - на клеточную оболочку, которая от этого растягивается и напрягается (растение "оживает"). Напряжение клеточных оболочек, вызванное внутренним давлением, получило название **тургор**. Благодаря тургору растения приобретают упругость. Особенно ярко это проявляется у растений суккулентов, ткани которых обогащены водой (содержат гель): у кактуса, алоэ, агавы, очитка.

Обычное внутриклеточное давление у растений - 5-10 атмосфер, но в отдельных случаях оно сильно возрастает. Этим и объясняется то "чудо", когда нежные стебельки растений, хрупкие грибы взламывают асфальт, пробиваясь к свету. Тургор активно влияет на формирование в природе. Так, под действием тургора разворачивается и принимает упругий вид сетки "вуаль" гриба диктиафора. Набирая внутрь себя воздух или воду, раздуваются и становятся похожими на колючие шары рыбы иглобрюхи, спасаясь таким образом от врагов. Особенно важна роль тургора в формировании при отсутствии у организма арматурной ткани, как у помидоров, патиссонов, гусениц, медуз.

Высказываются предположения, что при всех этих явлениях используется указанные выше капиллярные эффекты.

Пример 15. Е.Г.Конавалов (открыватель ультразвукового капиллярного эффекта) говорил, что открытый им эффект послужит разгадке нескольких биологических явлений. Он подсчитал, что если бы сердце и сосуды работали по известным законам гидродинамики, то, чтобы прокачать кровь, сердце должно быть в 40 раз мощнее. Ведь сердечно-сосудистая система - это капилляры общей длиной 100 тыс. км. Нет ли у сердца помощника - ультразвукового насоса?

Пример 16. Королевская примула, растущая на острове Ява, цветет перед землетрясением. Для местных жителей цветок служит прибором, предсказывающим приближение беды. Почему происходит это явление? Е.Г.Конавалов считает, что мощным толчком земной коры предшествуют слабые колебания разных частот, в том числе и ультразвуковые. Они ускоряют движение питательных соков по капиллярам растений, интенсифицируют процесс обмена веществ, и цветок расцветает. Индийские ученые Сингх и Панниха наблюдали влияние музыки на элодею и мимозу. Растения "слушали" музыку по полчаса в день. В это время они росли в полтора раза быстрее. Применение этого явления может интенсифицировать многие процессы.

Пример 17. Находить в сложных растворах мельчайшие частицы, невидимые даже под микроскопом, и управлять ими "умеют" специальные композиционные мембраны.

Пример 18. Используя многослойные пленки, можно без дополнительных энергетических затрат получать концентраты, полностью сохраняющие питательные свойства, получать пресную воду из соленой, очищать кровь, выделять из сырья лекарства.

Учеными разработана технология получения многослойных композиций из полимеров, в которых каждый слой имеет поры различной величины и несет конкретную нагрузку. Главный из них - плотная тончайшая корочка, почти не имеющая микроскопических отверстий. Именно она управляет движением молекул и ионов различных растворов. Остальные же используют второстепенные механические функции, повышающие прочность, химическую и термическую стойкость мембран.

Пропуская через такие фильтры молоко, фруктовые и овощные соки, можно будет без термообработки отделять воду и получать цельные концентрированные продукты. Эти консервы полностью сохраняют витамины, микроэлементы и другие ценные вещества, к тому же их легко транспортировать. Композиционные мембраны могут фильтровать вредные отходы, которые не поддаются биологической технологии и другой очистке⁵.

Продемонстрируем закономерность, показанную на рис. 5, тенденцией развития автомобильных шин.

Пример 19. Первоначально шины представляли собой сплошную резину. Это соответствует этапу 2 (в цепочке дробления). Это же показано на рис. 3 и 5. Такая шина частично амортизировала тряску при движении, но амортизация была недостаточной и одинаковой для любых дорог.

Пример 20. Разрешением этого противоречия было изобретение надувной шины (этап **A1**, рис. 5), которая до сегодняшнего дня является самой распространенной. Эта шина лучше амортизирует тряску, и с помощью изменения давления в шине можно приспособливаться к различным дорогам и к погодным условиям, так как изменяется форма той части шины, которая соприкасается с дорогой. Это соответствует этапу **A2**.

Имеется много изобретений, "улучшающих" надувную шину, в частности, для определения места прокола и ликвидации его последствий.

Пример 21. "Английская фирма "Диалог" выпускает шину, не нуждающуюся в ремонте. Внутри, на ободе шины равномерно размещаются несколько баллончиков с клеем. При проколе шины из нее выйдет воздух, один из баллончиков получит удар и из него вытекает клей, который заклеивает место прокола. Клей содержит жидкость, пары которой накачивают шину до прежнего предела"⁶. Такая шина соответствует этапам **A3** и **A4** - введение вещества (клея) и использование поля давлений в виде физического эффекта - пневмоудар.

Пример 22. Известны шины из "самозарастающей" резины.

Приведем еще один пример на этапы (**A3**, **A4**)

Пример 23. Резина шин перегревается от трения об асфальт. Предложено внутрь шины поместить немного воды или спирта. Жидкость испаряется, отбирая тепло от шины, затем конденсируется на холодном ободе колеса⁷.

Следующим этапом в развитии шин было деление их на две (**A2**) и более (**A3**, **A4**) секций, которые отдельно накачиваются.

Пример 24. Предложена шина⁸, состоящая из двенадцати секций.

Пример 25. В дальнейшем число таких секций увеличивалось (**B**). Шина уже делилась не только в радиальном, но и в продольном направлениях. Эти шины уже не боялись прокола, но их нужно было долго накачивать - каждую камеру отдельно.

Пример 26. Разрешение этого противоречия - в соединении всех штуцеров трубками, которые собраны в единый штуцер. Теперь можно накачивать сразу все камеры шины, но шина стала значительно тяжелее. Возникло новое противоречие. Для того, чтобы шина была более надежной, количество камер в ней должно быть как можно больше, но большое количество камер усложняет накачивание, а соединение всех камер системой трубок утяжеляет шину.

⁵ Ларина Т. "Сито" для молекул, Социалистическая Индустрия, № 52[5643], 3.03.88.

⁶ Знание-сила, № 12, 1973.

⁷ А.с. № 410 422. Знание-сила, №3, 1978, с. 40.

⁸ Патент США № 2 859 791.

Обычное мышление подсказывает, что нужно вернуться назад и не увеличивать число камер в шине. ТРИЗное мышление подсказывает обратное - нужно еще более увеличить число камер, выполняя главное действие, и устранить вредное действие - трудности при накачивании. В идеале шина вообще не должна накачиваться.

В результате переходим к шинам из капиллярно-пористого материала - КПМ (С).
Пример 27. Такие шины были впервые продемонстрированы фирмой "Синэйр" (США). Демонстрируемые ею шины заполнены пенополиуританом. Такие шины не боятся прокола⁹.
Пример 28. Теперь разработаны различные модификации этих шин. В одной из разновидностей полость шины заполняется пористыми полимерными частицами и гелеобразным веществом¹⁰.

Виток спирали замкнулся. Мы снова пришли к сплошной шине на новом качественном уровне, и ей присущи почти те же противоречия, что и раньше. Шина не прокалывается, но имеет постоянную жесткость. Как сделать шину более управляемой?

Разрешение противоречия в следующем этапе развития - поры делаются вполне определенной структуры и размеров (С2).

Определенным сочетанием ячеек различных форм и размеров можно получить различную жесткость шин, но такое управление жесткостью не динамично, а задано заранее.

Следующий этап в развитии - заполнение пор веществом, пример, жидкостью (С3). Шины становятся с более управляемой жесткостью.

Для дальнейшего увеличения или уменьшения давления шины должны "научиться" быстро подавать и убирать жидкость из пор, но делать это с помощью обычных насосов невозможно, так как в капиллярах своя гидродинамика. Разрешение этого противоречия требует согласования уровней решений. Капилляры - это микроуровень, а насосы - макроуровень.

Необходимо использовать насосы на микроуровне, т.е. нужно использовать физические, химические и прочие технологические эффекты (С4). Для капилляров эти эффекты имеют свои особенности. Они так и называются - капиллярные эффекты, которые описаны ранее.

Еще одним примером рассмотренной закономерности перехода к КПМ может служить история развития тепловых труб¹¹.

⁹ Химия и Жизнь, № 1, 1975, с. 33.

¹⁰ Пат. СССР № 908 243

¹¹ **Heat Pipes. P.D.DUNN, D.A.REAY, Pergamon Press, Oxford, New York, Toronto, Sydney, Paris, Braunschweig, 1976 - Дан П.Д., Рей Д.А. Тепловые трубы:** Пер. с англ.: - М.: Энергия, 1979.-272 с.