

Владимир Петров

Израиль,
E-mail: Atr1@bigfoot.com

Увеличение степени дробления

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 механизм закономерности изменения связанности технических систем, которая входит в подзакон **перехода системы с макро- на микроуровень** (рис. 2). В свою очередь последний, является частью **закона увеличения степени динамичности**. Все эти законы входят в группу законов эволюции технических систем (рис. 1).

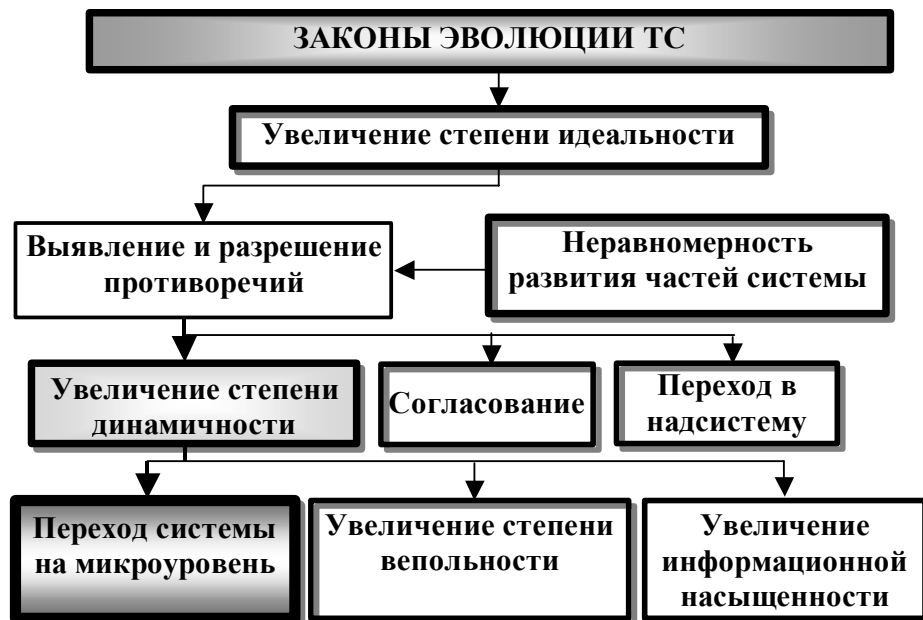


Рис. 1.

СТРУКТУРА ЗАКОНА ПЕРЕХОДА СИСТЕМЫ НА МИКРОУРОВЕНЬ

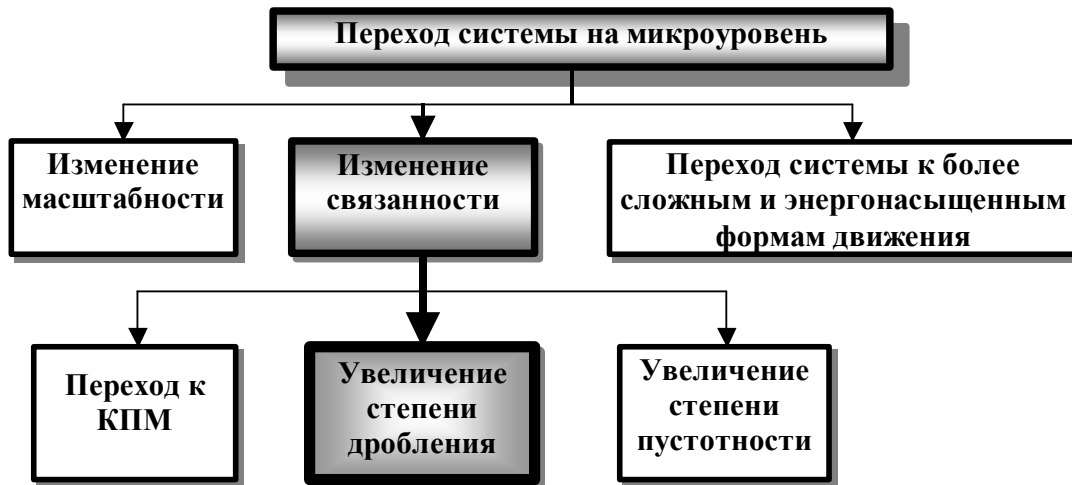


Рис. 2

Увеличение степени ДРОБЛЕНИЯ (дисперсности) вещества предусматривает, кроме того, изменение его твердости и эластичности. Прежде всего, это относится к рабочему органу¹.

Рабочий орган может быть **монолитным** и **немонолитным** (состоящим из отдельных частей). Вещество рабочего органа может быть **твердым, нетвердым** (мягким), **жидким, газообразным** и **полем**.

Рассмотрим более детально последовательность дробления, которая представлена на рис. 5.

Эта последовательность характеризуется переходом от **твердой монолитной системы (1)** к полностью **гибкому (эластичному) объекту (2)**. Дальнейшее дробление приводит к разделению объекта на отдельные части, не связанные между собой или связанные с помощью какого-либо поля, например, магнитного.

¹ Основные направления и идеи этой работы были изложены В.Петровым в письме к Г.С.Альтшуллеру в 1973 году. В данном виде работа впервые была доложена В.Петровым на семинаре преподавателей и разработчиков ТРИЗ (Петрозаводск-82) и описана в работах:

Петров В.М. Идеализация технических систем. - Областная научно-практическая конференция "Проблемы развития научно-технического творчества ИТР". Тезисы докладов. Горький, 1983, с.60-62.

Петров В.М. Закономерности развития технических систем. - Методология и методы технического творчества. - Тезисы докладов и сообщений к научно-практической конференции 30 июня - 2 июля 1984 г. - Новосибирск, 1984, с. 52-54.

УВЕЛИЧЕНИЕ СТЕПЕНИ ДРОБЛЕНИЯ

9

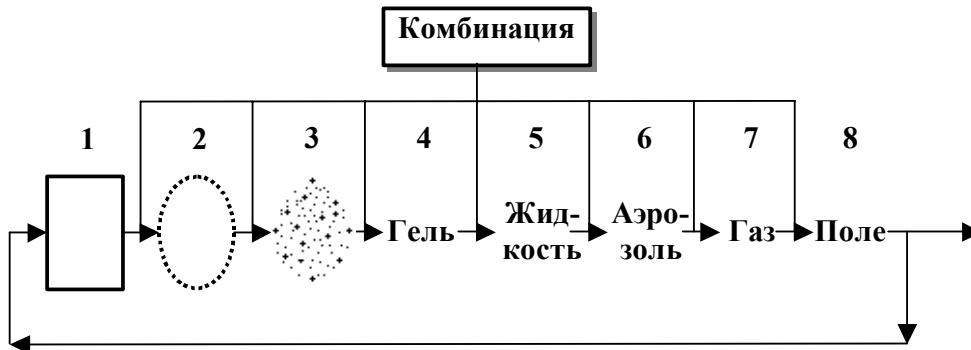


Рис. 5

Дробление идет в сторону измельчения каждой части вплоть до получения мелкодисперсного порошка или микросфер, т.е. объект становится **порошкообразным (3)**. Следующий переход приводит к **гелю (4)** - пастообразному веществу. Затем изменяется степень вязкости вещества до получения **жидкости (5)**. Далее изменяется степень связанности жидкости. Используются более легкие и летучие жидкости и **аэрозоли (6)**. Содержание газа в аэрозоле увеличивается, и таким образом происходит переход к **газу (7)**. Постепенно используется все более легкий газ. Затем газ становится более разреженным, следующий шаг приводит к крайнему состоянию - образованию вакуума. Последнее состояние в этой цепочке - использование **поля (8)**, в частности это может быть и плазма.

На новом витке развития система вновь становится монолитной. На рисунке это показано в виде петли обратной связи.

Промежуточное состояние в каждом из указанных переходов может занимать "пена" в твердом, жидком, газообразном и прочих видах. Кроме того, возможна **комбинация (9)** из указанных состояний в любом сочетании. С целью повышения эффективности могут быть использованы технологические эффекты, характерные для данного состояния.

Пример 3. 1 - негибкое вещество, например, металл, дерево и т.п.; 2 - резина, ткань, пленка, тонкие куски металла, например фольга, трос и т.п.; 3 - отдельные, несоединенные части, шарики, зерно, песок, микросферы, пыль и т.п.; 4 - желе, студень, паста, крем, масло, коллоидный раствор и т.п.; 5 - жидкости различной плотности, от жидких масел до спирта, эфира и жидких газов; 6 - аэрозоли с различным процентным содержанием жидкости и газа; 7 - газы различной плотности, от тяжелых до самых легких.

На этапе 1 широко применяются геометрические и некоторые физические эффекты. Сочетание этих эффектов часто встречается в строительстве при использовании предварительно напряженных конструкций.

Пример 4. Архитектор Паоло Солерии (США) спроектировал мост (рис. 6), по форме напоминающий полусвернутый лист злака (рис. 6 а).

Пример 5. Архитектурная фирма в США "Гаррисон и Абрамович" построила зал собраний, складчатая форма покрытий которого напоминает складки поверхности гриба (рис. 7).

Пример 6. Ресторан гостиницы "Сан-Хуан" в Пуэрто-Рико (рис. 8), напоминает морскую раковину.

Пример 7. Стебель злака напоминает телевизионная башня телецентра в Останкине в Москве (рис. 9), которая использует и вантовые конструкции.

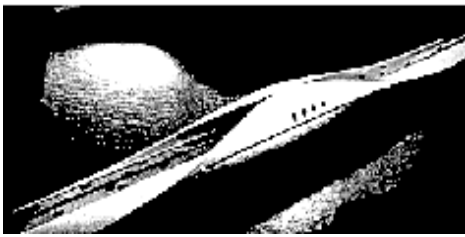


Рис. 6



Рис. 6 а

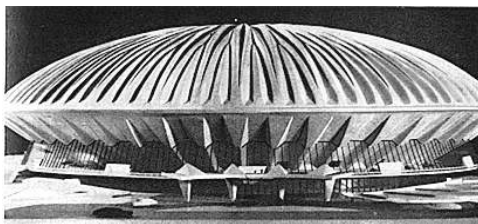


Рис. 7

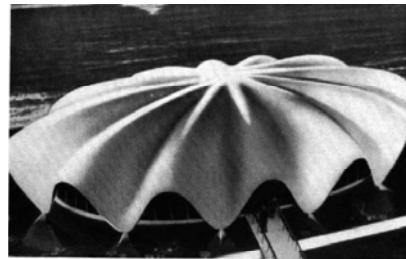


Рис. 8



Рис. 9

Полная схема дробления приведена на рис. 10. В нее дополнительно введены переходы от состояния (1) к состоянию (2), от (2) к (3) и переходы от состояний (1) и (2) к капиллярно-пористым материалам (КПМ).

Переход от монолитной (твердой) системы (1) к гибкой (2) происходит по определенной закономерности, показанной на рис. 10. Рассмотрим эту закономерность.

УВЕЛИЧЕНИЕ СТЕПЕНИ ДРОБЛЕНИЯ (общая схема)

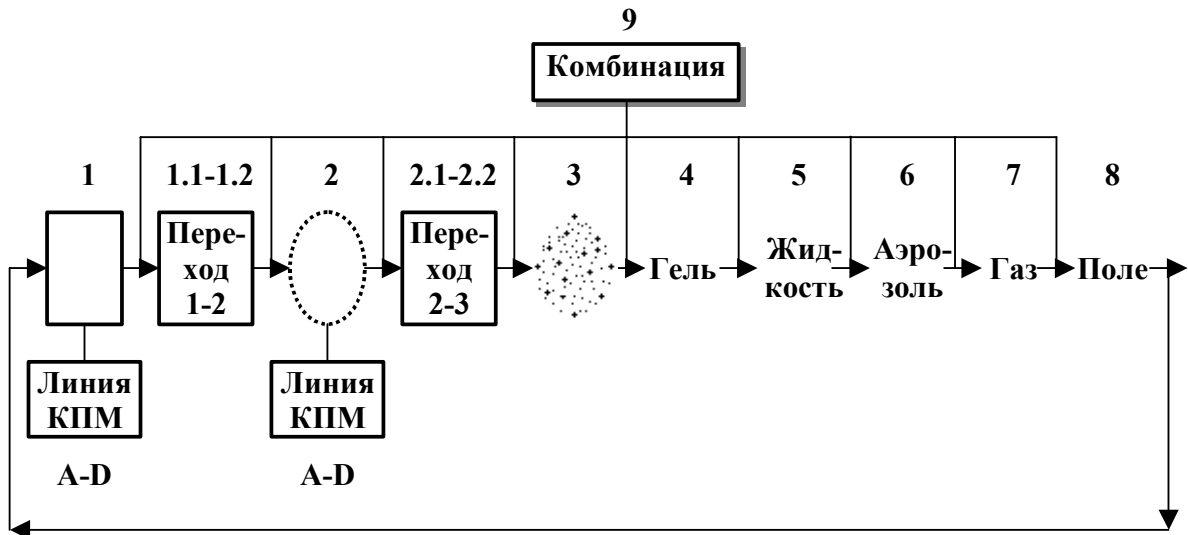


Рис. 10

Где:

- 1** - монолит в твердом состоянии;
- переход 1-2** - переход от твердого к гибкому состоянию (см. рис. 11);
- 2** - монолит в гибком состоянии;
- переход 2-3** - переход от гибкого к порошкообразному состоянию (см. рис. 13);
- 3** - отдельные несвязанные части, песок, порошок;
- 4** - пастообразные вещества, гели, коллоидные растворы;
- 5** - жидкости;
- 6** - газы;
- 7** - аэрозоли;
- 8** - поля.

ПЕРЕХОД ОТ ТВЕРДОГО СОСТОЯНИЯ К ГИБКОМУ

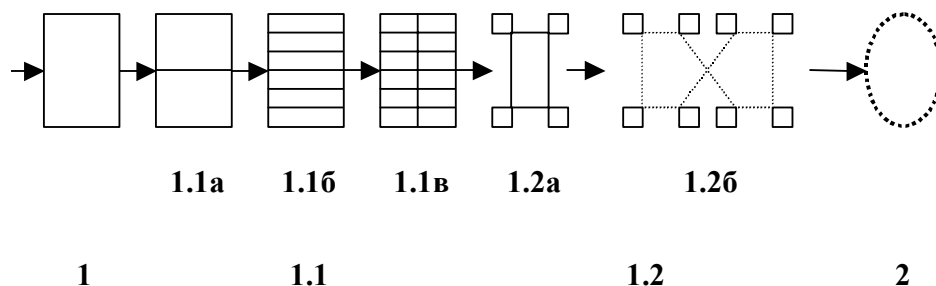


Рис. 11

Первоначально объект разбивается на **части, вплотную присоединенные друг к другу (1.1 а)**. Это соединение может быть разъемное (резбовое, шпоночное и др., а также выполненное с помощью различных полей) и неразъемное (клеевое, сварное, и др.). Дальнейшее разбиение приводит к **увеличению количества частей** в системе (1.1 б, в). Для повышения эффективности конструкций используются **геометрические и физические эффекты**, например, различные формы частей и связей, предварительно напряженные конструкции.

На следующем этапе отдельные **части соединяются жесткими связями (1.2а)**. Количество частей и связей увеличивается.

Далее жесткость связей уменьшается, и постепенно **связи делаются гибкими** - шарнирными, пружинными и т.п. (1.2 б). И, в конце концов, происходит переход к полностью **гибкому объекту (2)**.

Приведем пример на этап 1.1 а.

Пример 8. Для подъемных кранов разработаны ходовые колеса со съемными ребордами - выступами, предупреждающими сход колеса с рельсовой колеи. Для ремонта достаточно отвинтить быстроизнашиваемые боковины и поставить на их место новые. Кроме того, появилась возможность делать эту деталь из более прочного металла, чем обод².

Примером этапа 1.2 а могут служить фермы различных конструкций.

Пример 9. В 1889 году в Париже по проекту Эйфеля была сооружена ажурная трехсотметровая металлическая башня (рис. 12). Другим примером этого этапа может служить башня Шухова (рис. 12а).

² А.с. № 633 789. Изобретатель и Рационализатор, № 7, 1988, МИ 0705, с. 2



Рис. 12

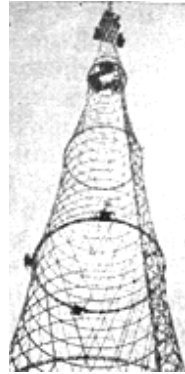


Рис. 12 а

Подобная же последовательность характерна и для перехода от **эластичного вещества (2)** к **порошкообразному (3)**. Она изображена на рис. 13.

Первоначально гибкий объект разбивается на части, вплотную присоединенные друг к другу (2.1 а). Это соединение может быть разъемное и неразъемное. Дальнейшее разбиение приводит к увеличению количества частей в системе (2.1 б, в). Для повышения эффективности конструкций используются физические эффекты, например, предварительно напряженные, вантовые, надувные и гидравлические конструкции.

ПЕРЕХОД ОТ ГИБКОГО СОСТОЯНИЯ К ПОРОШКООБРАЗНОМУ

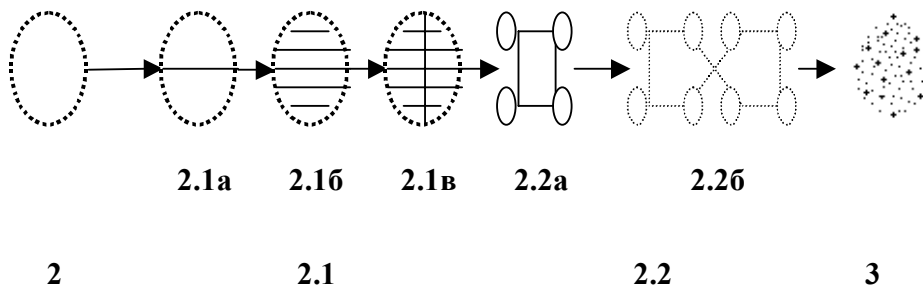


Рис. 13.

На следующем этапе отдельные части соединяются жесткими связями (2.2 а). Количество частей и связей увеличивается.

Далее жесткость связей уменьшается, и постепенно связи делают гибкими - шарнирными, пружинными и т.п. (2.2 б). Необходимо учесть, что постепенно число частей увеличивается, а связи между ними становятся все более гибкими.

Вантовые конструкции являются одним из примеров использования технологических эффектов на данном переходе.

В вантовых конструкциях основным несущим элементом сооружения служат натянутые стальные тросы или система тросов (тросовые фермы), по которым

укладываются тонкие мембраны из стали, алюминия, дерева и пр. Для покрытия зданий с большим пролетом вантовые конструкции представляются наиболее эффективным решением.

Пример 10. Например, в Санкт-Петербурге построен спортивно-концертный комплекс с покрытием в виде мембраны диаметром 160 м, толщиной 6 мм и универсальными вантовыми конструкциями. За натяжением мембраны ведутся постоянные наблюдения.

Пример 11. Крыша-мембрана спортивного зала Олимпийского стадиона в Москве толщиной 5 мм перекрывает без единой промежуточной опоры площадь свыше 30 тыс. кв. м. (рис. 14).

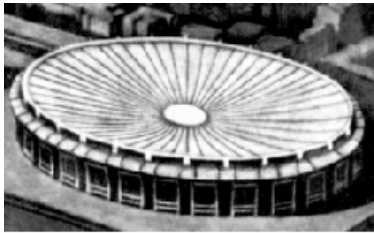


Рис. 14

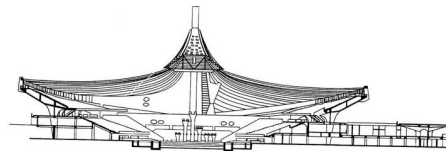


Рис. 15

Принцип вантовых конструкций использовался еще в сооружениях древности; в наше время его многократно использовал всемирно известный японский архитектор Кензо Танге.

Пример 12. Среди наиболее известных сооружений Кензо Танге - два олимпийских спортивных зала в Токио - Ёёги, построенных для XVII летних Олимпийских игр 1964 г. (рис. 15).

Дальнейшее развитие техники осуществляется заменой жесткой связи на **гибкую (2.2 б)**.

Пример 13. Чтобы цанга надежно зажимала деталь, кольцевые прорезы губок цанги заполняют эластичным материалом. Для усиления упругости цангового патрона в месте перехода лепестков в корпус делают кольцевые пазы³.

Пример 14. Разъем для печатных плат, содержащий корпус из диэлектрика и упругие контактные элементы, выполненные в виде изогнутых S-образных пружин, будет более надежным при контактировании, если изогнутые пружины изготовить в виде ряда последовательно расположенных проволок⁴.

В дальнейшем рабочий орган выполняют из отдельных частей, практически не связанных между собой, количество частей еще больше увеличивается, а их размеры уменьшаются, переходя к **порошку или микросферам (3)**.

Пример 15. Предлагается повысить надежность электрического соединения в контактном гнезде, содержащим диэлектрический корпус из упругого эластичного материала с размещенным внутри токопроводящим элементом, отверстием для контактирующего штыря и контактом для подключения. Цель достигается за счет выполнения токопроводящего элемента в виде металлических шариков, диаметр которых больше диаметра отверстия для контактирующего штыря⁵.

Пример 16. Подшипник скольжения - это вал во втулке. В небольшой зазор, исчисляемый микронами, подается смазка. Недостаток подшипника - большие значения пускового момента и необходимость в антифрикционных сплавах. Значительное улучшение

³ А.с. 1 266 672. Изобретатель и Рационализатор, № 6, 1988, МИ 0607, с.2)

⁴ А.с. № 411 673, БИ 2/74.

⁵ А.с. № 813 838, БИ 10/79.

параметров подшипника скольжения может быть достигнуто, если в смазку добавить стеклянные шарики. На первый взгляд - абсурдная идея. Какие шарики, если нагрузка тонны? Однако стекло слабо сопротивляется только ударным нагрузкам, а на сжатие оно работает не хуже металла. Стеклянные шарики получают из расплава в воздушном потоке с медленным охлаждением, чтобы не было микротрещин. Такие шарики имеют диаметр 2-20 мкм и выдерживают внушительную нагрузку сжатия - 800 мегапаскалей (800 атм.).

После добавления шариков в смазку нет необходимости изготавливать втулку из сплавов цветных металлов - по причине схожести механизма трения пары с подшипником качения, а напротив, есть необходимость делать ее из стали. Диаметр стеклошариков выбирают из соображения соразмерности зазора и высоты гребешков - шероховатости, класса чистоты обработки втулки и вала. Шарик, попадая во впадины шероховатостей, не оседает в них, а все время выкатывается и движется вместе со смазкой.

Тем самым происходит обкатка острых краев шероховатостей, как бы упрочняют и полируют поверхность, уменьшая величину гребешков. По этой причине при использовании стеклошариков уменьшается коэффициент трения пары и возникает эффект почти трехкратного снижения мощности холостого хода машины⁶.

Пример 17. При изготовлении эффективных угольных адсорбентов уголь измельчают до размеров частиц менее 100 мкм, гранулируют, сушат, карбонизируют, в ходе чего уголь становится пластичным; активизируют его паром и газом при температуре 800-900°C. Летучими продуктами гранулы вспучивают и образуют разветвленную систему пор. Такой адсорбент стопроцентно очищает газы от альдегидов, спиртов, кетонов, органических оснований, жирных кислот и других углеродов⁷.

В результате соединения твердого вещества с жидкостью в технической системе получается пульпа (обмазка) и **гель (4)**, имеющий аморфную структуру (клей сначала в полужидком виде, а затем затвердевающий на воздухе). Такие вещества - обмазка и клей - являются основными компонентами технической системы, рассматриваемых в последующих двух примерах.

Пример 18. Стойкость крупных штампов (2x1) м повышается в 1,5-3 раза (даже при использовании низкоуглеродистой стали), если этот инструмент насытить бором и алюминием из дешевых обмазок, наносимых на поверхность слоем толщиной 6 мм. Обмазка легко удаляется после закалки и отпуска. Защищают они инструмент и от окалины⁸.

Пример 19. Треснувший корпус цилиндра или разбитый картер двигателя, обычно долго ремонтируемые, можно быстро склеить полимерным клеем К-153. Даже глубокие трещины в металле клей заваривает намертво. Состоит он из эпоксидной смолы, отвердителя, металлических наполнителей⁹.

Использование вещества в **жидком состоянии (5)** в технических системах описано в следующем примере.

Пример 20. Скользящая обойная опалубка повышает качество бетонирования монолитной бетонной крепи вертикальных шахтных стволов. Прессующая секция опалубки сделана из двухслойных резиновых листов, которые, раздвигаясь под давлением жидкости, герметизируют стык между опалубкой и верхней части крепи. И пока подается бетон, резиновая рубашка разравнивает и уплотняет бетонную смесь. После застывания и получения необходимой прочности давление жидкости снимается, резиновые листы отжимаются, и опалубку можно переместить на следующую позицию¹⁰.

Аэрозоли (6) используются достаточно широко в технике и быту.

Газообразное состояние вещества (7) достаточно распространено в технике.

⁶ Изобретатель и Рационализатор, № 11, 1988, с. 12.

⁷ Изобретатель и Рационализатор, № 11, 1988, МИ 1106, с. 2.

⁸ Изобретатель и Рационализатор, № 11, 1988, МИ 1002, с. 2.

⁹ Изобретатель и Рационализатор, № 7, 1988, МИ 0726, с. 1.

¹⁰ А.с. № 1 285 154. Изобретатель и Рационализатор, № 6, 1988, МИ 0620, с. 1.

Пример 21. Ученые из СССР предложили проект прокладки в болотистой местности транспортных магистралей, основным элементом которых являются эластичные надувные камеры. Дорога по болоту выполняется из сборных щитов. На нижней части каждого щита размещается эластичная надувная камера из резинотканного материала. Щиты выполнены металлическими и соединяются замками так, чтобы получилось сплошное покрытие, давление воздуха в надувных камерах не велико и поэтому для их наполнения используются выхлопные газы автотранспорта. В нерабочем виде из камер выпускается воздух и дорога складывается в гармошку¹¹.

Применение поля (8), например, ионизированного газа плазмы - представлено следующим примером:

Пример 22. Специалисты фирмы "Вестингауз" (США) решили крупнейшую проблему переработки токсичных отходов, в частности так называемых многохлористых дифенилов. Для этого они использовали высокотемпературную плазму, образующуюся при пропускании воздуха через электрическую дугу (5000°С). Сжигание этих веществ в низкотемпературных печах затруднено, так как при этом образуются сложные вторичные токсичные вещества. При использовании же плазмы образуются более простые соединения - в основном хлористый водород и окись углерода. Хлористый водород нейтрализуется, а окись углерода сжигается; ее можно использовать как топливо. Способ обеспечивает уничтожение свыше 99,99% опасных веществ и дешевле других способов¹².

Применение жидкой и твердой пены - промежуточного состояния между твердым (жидким) и газообразным состояниями вещества описано в следующих двух примерах.

Пример 23. Для защиты наплавляемого в процессе сварке металла используют легкоплавкий флюс или инертный газ. И все-таки металл выгорает, его расход большой. Предлагается производить сварку под слоем пены. Пену получают путем вспенивания газом (аргон, азот) водного раствора мыла и глицерина. Для легированных сталей лучше применять аргон. Пенная защита сократила расход дорогостоящего аргона в 6-8 раз. При пенной защите места сварки электрическая дуга становится более устойчивой, уменьшается пористость наплавленного металла¹³.

Пример 24. В ФРГ разработано кресло-коляска из пенополиуретана. В этом кресле решена совокупно проблема надежности, смены сидений, размерности. Воздушные емкости в подушках на сидении позволяют человеку "отформировать" кресло по своему удобству. Материал отлично стерилизуется, выдерживает большой груз и прекрасно поглощает удар. Такое кресло весит около 10 кг.¹⁴

В качестве примера реализации последовательности, приведенной на рис. 10, рассмотрим тенденции развития уплотнителей. Если уплотняются подвижные части, например, какой-то вал, то развитие уплотнителей осуществляется разрешением физического противоречия: контакт между уплотнителем и валом должен быть, для того, чтобы разделить среды, и контакта не должно быть, для того, чтобы уплотнители не истирались. Разрешение этого противоречия осуществляется в структуре. Изменяется структура контакта по выше указанной цепочке.

Первые уплотнители представляли собой **монолитную** конструкцию (1).

Пример 25. Примером может служить притертая пробка или кран.

Далее стали появляться первые **гибкие элементы**.

Пример 26. Кольца поршней, например у двигателей.

¹¹ Богданов В.В. Удивительный мир резины. - М.: Знание, 1989, с. 24.

¹² Изобретатель и Рационализатор, № 11, 1988, МИ 1102, с. 2

¹³ Меркин А.П., Таубе П.Р. Непрочное чудо. - М.: Химия, 1983, с. 173

¹⁴ Изобретатель и Рационализатор, № 7, 1989, с. 42

Количество гибких частей стало увеличиваться. В конце концов, уплотнитель стал **полностью гибким (2)**

Пример 27. Резиновые уплотнители - сальники. Используются уплотнитель в виде намотанных нитей, например, пакли.

Известны уплотнители в виде отдельных **шариков** или **порошка (3)**.

Широко используются для уплотнения различные **гели (4)**.

Пример 28. Части, которые необходимо уплотнить, смазывают пушечным салом, тавотом, солидолом и т.п.

Жидкости (5) также используются в качестве уплотнителей. Разделение газовых сред осуществляется с помощью жидкостей, или разделение жидких сред с помощью жидкостей разной плотности.

Пример 29. Уплотнитель в газовом сифоне. Такие уплотнители известны всем. Они расположены под раковиной и унитазом (изогнутая труба).

Еще более идеальны уплотнители, использующие магнитные и реологические жидкости. Они выдерживают большие давления и не истираются.

Известны использования **газовых уплотнителей (6)**. Обычно такое уплотнение используется в сочетании с каким-либо полем, например, полем давления, т.е. осуществляется подпор противодавлением.

Оригинальное использование газовых уплотнителей предложил академик П.Л.Капица.

Пример 30. Для сжижения гелия используются расширительные машины (при расширении газ охлаждается). В расширительной машине поршень должен двигаться в цилиндре без трения и не пускать газ. Таким образом, возникает противоречие: поршень не должен соприкасаться с цилиндром, т.е. между поршнем и цилиндром должен быть зазор, чтобы поршень свободно, без трения, и быстро двигался для быстрого расширения объема камеры, и поршень должен соприкасаться с цилиндром, зазора между поршнем и цилиндром быть не должно, чтобы в этот зазор не уходил газ, т.е. для герметизации зазора. Естественно, что пытались как можно точнее притирать поршень к цилиндру. Но, несмотря на это, поршень заклинивало из-за резкого изменения температур. Не спасли и уплотнительные кольца. Наконец, было предложено заполнить зазор между цилиндром и поршнем смазкой.

Смазка прекрасно справлялась со своими обязанностями, но при температуре жидкого гелия смазка замерзала и становилась хрупкой, как стекло. Петр Леонидович в разработанной им установке отказался от смазки. Он предложил сделать зазор между цилиндром и поршнем такой, чтобы поршень двигался свободно, а сжатый газ утекал через зазор. При утечке газ быстро расширяется и создает противодействие, мешающее вытеканию новой порции газа. Протекающий газ является как бы газовой смазкой.

Кроме того, в предложенной установке время расширения газа очень мало (сотые доли секунды). Общая утечка газа составляет 2-3%¹⁵.

Но даже эти "потери" газа можно вернуть обратно, если замкнуть выход цилиндра с камерой.

Можно привести много примеров уплотнителей, представляющих собой **комбинации** описанных переходов.

Пример 31. Уплотнение в скафандрах в местах одевания перчаток и носков. Первоначально такое уплотнение представляло собой пустотелый эластичный тор, в который подавался воздух под давлением. В дальнейшем в это кольцо поместили губку (латексную) с открытыми порами, в которых содержалось определенное количество воздуха. При понижении давления снаружи скафандра из губки выделяется воздух и в кольце создается повышенное давление, раздувающее тор и герметизирующее запястье¹⁶. В решении использованы гибкая оболочка, пористое вещество (губка) и давление воздуха.

¹⁵ Капица П.Л. Эксперимент, теория, практика. - М.: Наука, 1977, с. 16-18.

¹⁶ А.с. № 435 829.

Пример 32. Для герметизации могут использоваться и гибкая оболочка, заполненная сыпучими телами (шарики, песок, микросферы и т.п.). Ее прикладывают к месту, которое необходимо загерметизировать, а затем откачивают воздух из оболочки. Тогда, под действием образовавшейся разности давлений, частицы сыпучих тел теряют возможность смещаться одна относительно другой, конструкция как бы "твердеет", практически без изменения формы.

Полученную таким образом плотную структуру, возможно использовать, например, для заделки пробоины и подводной части корпуса корабля: к борту крепко прижимается сеть, которую заполняют под давлением эластичными гранулами¹⁷.

Пример 33. Схожее решение, только на микроуровне, предложено для защиты скафандра космонавта от метеоритных пробоин¹⁸. Роль сетки здесь выполняет жидкое резиновое связующее, роль гранул - порошок наполнителя.

Пример 34. Аналогичным образом работают вакуумная формовка для литья, захват и фиксация деталей¹⁹.

В качестве еще одного примера рассмотрим тенденцию развития щеток электродвигателей и электрогенераторов. Развитие электрических щеток осуществляется разрешением физического противоречия: контакт должен быть, для того, чтобы передавать электрическую энергию, и контакта не должно быть, для того, чтобы щетки не истирались. Разрешение этого противоречия первоначально осуществляется **параметрическое**: должен быть электрический контакт и не должно быть механического контакта. Следующий этап разрешения противоречия в структуре. Изменяется структура контакта по выше указанной цепочке.

Первоначально щетки представляли собой **монолит (1)**.

Пример 35. Первые электрические щетки для электродвигателей были сделаны в виде монолитного электрода, изготовленного из меди или угля. Такие щетки быстро истирались и электрический контакт исчезал.

Затем появились **подпружиненные контакты (переход 1-2)**.

Пример 36. Сам контакт был выполнен из кусочков угля или меди. Они поджимались к коллектору с помощью электропроводящей пружины

На следующем этапе развития появились щетки в виде **пружин (2)**

Пример 37. Щетки выполнены в виде пучка отдельных металлических упругих волосков из электропроводящего материала.

Известны также щетки в виде **графитового порошка (3)**.

Жидкие щетки(5).

Пример 38. Американская фирма "Вестингауз" в электрогенераторах большой мощности впервые стала применять вместо традиционных графитовых щеток для съема электроэнергии циркулирующий поток жидких металлов - натрия и калия. Такой метод позволяет снимать с единицы площади больший, чем в традиционных условиях, ток. А это в свою очередь ведет к существенному уменьшению габаритов электрогенераторов²⁰.

Наконец, в качестве идеальных щеток (которых нет, а их функции выполняются) может служить щетки в виде **поля (8)**

Пример 39. Щетки представляют собой ионизированный газ, являющийся прекрасным проводником.

¹⁷ А.с. № 703 418.

¹⁸ Патент США № 3 536 576.

¹⁹ А.с. № 1 165 553.

²⁰ Газета Социалистическая индустрия, 06.02.75