

## КАК "УМНЫЕ" ВЕЩЕСТВА МОГУТ ПОМОЧЬ ИЗОБРЕТАТЕЛЮ

Кынин А.Т.

(Материал дается в сокращенном виде)

В представленной работе рассматриваются материалы, которые получили название "умных". Предлагается классификация таких веществ и приводятся примеры существующих разработок в этой области. Эти данные могут быть полезны специалистам и изобретателям, которые решают задачи, связанные с созданием новой продукции.

В последнее время появился большой интерес к так называемым "умным веществам" или точнее "умным материалам" (УМ, smart materials,). Это материалы, которые могут реагировать на изменение внешних условий, например: давления, температуры, влажности среды и т.д. (<http://www.kv.by/index2002073401.htm>, [http://www.itogi.ru/paper2001.nsf/Article/Itogi\\_2001\\_02\\_16\\_142714.html](http://www.itogi.ru/paper2001.nsf/Article/Itogi_2001_02_16_142714.html)).

Такие вещества стали очень популярны при производстве самых различных товаров и остается только в очередной раз отдать дань уважения основоположниками ТРИЗ, которые предсказали данную тенденцию еще в 70-х годах, когда еще ничего ее не предвещало. С другой стороны, удивляться этому не стоит, так как формулировка Идеального Конечного Результата подталкивает к поиску именно такого вещества, которое делает все САМО. Кстати, небезынтересно отметить, что сплавы с "памятью формы", с которых и начиналось это направление, пока еще не получили такого широкого применения, как то ожидалось ранее.

Действительно, применение таких материалов может дать огромный экономический эффект, поэтому не случайно, что в реализации проекта создания УМ, например, в Palo Alto Research Center (PARC) компании Xerox ([www.parc.xerox.com/theme-sm.html](http://www.parc.xerox.com/theme-sm.html)) задействованы почти все лаборатории (Electronic Materials Lab, Systems and Practices Lab, Document Hardware Lab и др.). Эти же направления включены в список перспективных проектов лаборатории компании Hewlett-Packard ([ginger.hpl.hp.com/shl/projects/smartMatter](http://ginger.hpl.hp.com/shl/projects/smartMatter)). Исследования по "умным материалам" ведутся столь широким фронтом, что возникла необходимость в издании специального журнала по этой теме - Smart Materials and Structures (<http://www.iop.org/EJ/journal/SMS>) и дайджеста Smart Materials Bulletin (<http://www.sciencedirect.com/science/journal/14713918>). Весьма перспективным направлением создания новых видов УМ является также получение полимерных нанокомпозитов ([http://vivovoco.nns.ru/VV/JOURNAL/NATURE/07\\_00/NANO/NANO.HTM](http://vivovoco.nns.ru/VV/JOURNAL/NATURE/07_00/NANO/NANO.HTM)).

В то же время, повсеместно наблюдается путаница в понятиях, вызванная отсутствием терминологии в этом новом, бурно растущем направлении. Так, в одной из статей (Emerging smart materials systems: Opportunities for ceramics <http://www.spie.org/web/oer/february/feb98/smartmat.html>) приводится следующий список УМ: Биоподобные полимеры и гели, Хромогенные материалы и системы, Проводящие полимеры, Управляемые жидкости, Волоконно-оптические датчики, Магнестрикционные материалы, Микромашины электро-механические (MEMS), Пьезоэлектрическая и электрострикционная керамика, Пьезоэлектрические полимеры, Сплавы и полимеры с памятью формы.

По нашему мнению попадание в этот список микромеханические устройства, полученные по МЭМС-технологии и, тем более, волоконно-оптических датчиков никак не обосновано. Несомненно, такие устройства чрезвычайно интересны и очень перспективны, но все-таки разница между "устройством" и "материалом" достаточно большая, чтобы не смешивать эти понятия.

Наиболее часто встречается следующее определение: УМ - это вещество, которое меняет все свои характеристики в зависимости от внешних условий, в которых он находится. Однако, такое определение не может быть рекомендовано, так как ВСЕ материалы так, или иначе, изменяют свои свойства под действием внешних воздействий. Например, большинство металлов расширяется при нагревании, но только титанол и некоторые другие сплавы, которые мы относим к УМ, при нагревании скачкообразно восстанавливают свою первоначальную форму, совершая механическую работу.

Следовательно, нас интересуют только такие вещества, которые при своем изменении выполняют какую-либо полезную функцию. В этом случае можно не только более корректно определить круг

объектов, которые мы относим к "умным", но и попытаться дать им классификацию. Такой подход вполне естественен с точки зрения ТРИЗ, т.к. "умный" материал - это техническая система, фактически свернувшаяся в рабочий орган.

Итак, на входе мы имеем некое воздействие. Что же получается на выходе? Мы определили, что на выходе мы имеем выполнение некой полезной функции. Что еще сопутствует поведению УМ? Видимо, трансформация энергии в той, или иной форме. Действительно, при всем желании молоток никто "умным" не назовет, он только трансмиссия между нашей рукой и гвоздем. То есть "умные" материалы отличаются от прочих наличием обратной связи, благодаря которой интенсивность воздействия материала на сопряженные объекты регулируется в зависимости от степени его трансформации.

Затем, свою функцию УМ должен выполнять не когда придется, а только при некоем внешнем воздействии, играющем роль "спускового крючка". Причем, значение этого воздействия должно быть каким-то образом фиксировано. Ну согласитесь, кому нужно ружье, которое как в "Белом солнце пустыни" палит тогда, когда ему вздумается, а не тогда, когда это нужно нам! Кроме того, этот отклик при внешнем воздействии должен каким-то образом отличаться от обычного поведения веществ, как, например, термическое расширение для того же нитинола по сравнению с медью.

И наконец, наш УМ должен, в ряде случаев, восстанавливать свои характеристики при возвращении первоначальных условий, т.е должно быть регенерируемым. Это требование не является обязательным, однако, одноразовые системы все-таки не столь интересны для потребителя. В то же время, ограничив классификацию только многообразными системами мы отбросили бы очень интересную группу адаптивных материалов (см. Далее).

Следующим шагом в функциональном анализе УМ является определения его отклика на внешнее воздействие. Техническая система может свернута полностью и тогда присутствие человека в качестве системы управления не требуется, либо, система свернута частично и информирует человека об изменениях внешних условий.

Таким образом, для обсуждения предлагается следующее определение:

"Умное" вещество - это вещество, которое при достижении внешним воздействием некоторого порогового значения трансформирует количественное изменение энергии этого воздействия в качественное, скачкообразное изменение собственных свойств, выполняя при этом полезную функцию. Выполнение этой полезной функции может как многократным, повторяющимся при уменьшении внешнего воздействия, так и однократным.

Исходя из функциональной направленности наших УМ целесообразно разделить их на следующие группы:

· **Сенсоры, которые только реагируют на внешние воздействия:**

- о Сигнализаторы, обращающие внимание пользователя на изменение условий;
- о Адапторы, изменяющие свои свойства без вмешательства человека.

· **Преобразователи:**

- о Актуаторы, превращающие внешние воздействия в механическое движение.
- о Преобразователи, превращающие внешние воздействия в сигнал "отклика".

Такое разделение, на наш взгляд, вполне рационально, т.к. отражает тенденцию повышения управляемости системы и, одновременно, вытеснения человека: сигнализировать о каком-либо воздействии, преобразовать это воздействие в управляющий сигнал, или непосредственно отреагировать на это воздействие изменив свои свойства. Выделение Актуаторов в отдельный класс обусловлено важностью их применения. Рассмотрим эти классы более подробно.

Возникает резонный вопрос: а зачем вообще стоит рассматривать такие "умные" вещества-сенсоры, если созданы дешовые микрокомпьютеры, которые прекрасно выполняют эти же функции? Например компания Hewlett-Packard изобрела специальную "умную" упаковку для лекарств и запатентовала ее в США под номером - US 2003/204359. Новинка содержит термометр, часы и мини-компьютер. Фармацевт программирует упаковку, вводя данные о лекарстве и идеальных условиях его хранения. Термометр меряет температуру окружающей среды и посылает эти данные в компьютер, который вычисляет реальное "время жизни" таблеток. Как только лекарство израсходует свой срок годности, компьютер известит об этом пациента. (журнал New Scientist. <http://www.nauka.lucksite.com/>).

Действительно, такое устройство найдет широкое применение при производстве некоторых, достаточно дорогих и ответственных лекарств. Но НИКОГДА сложное техническое устройство не сможет сравниться по надежности с веществом, изменения которого определяются только законами природы. Как бы не был совершенен термометр, но если мы видим, что лужа замерзла - значит температура ниже нуля. Да и по цене компьютеров едва ли сравняются с УМ, несмотря на интенсивное удешевление. Конечно, можно поставить компьютер и на бутылку с пивом, но гораздо проще и надежнее сделать бутылочную этикетку, которая САМА подскажет вам, что пиво надо охладить.

### СЕНСОРЫ-СИГНАЛИЗАТОРЫ

К сенсорам-сигнализаторам целесообразно отнести вещества, которые только сообщают нам об изменении внешних условий. Исходя из такого определения сразу возникает вопрос: Как эти вещества могут сообщить нам эту информацию? Следовательно, предложенное определение необходимо дополнить: Это вещество информирует человека без использования дополнительных устройств, то есть изменения внешних условий отражается на свойствах собственно веществ-сенсоров или их производных с присутствующими ресурсами окружающей среды (воздух, сила гравитации и т.д.) таким образом, что могут непосредственно наблюдаться человеком с использованием ТОЛЬКО его органов чувств (то есть осязания, слуха, обоняния, вкуса и зрения). Необходимым требованием к сенсорам-сигнализаторам является обратимость их свойств.

В рассматриваемом случае мы получаем типичную для Стандартов ТРИЗ "измерительную задачу". Стандарт 4.1.3. предлагает перевести "измерительную" задачу в задачу "обнаружительную". Кроме того, становится возможным введение в рассматриваемую систему ресурсов окружающей среды, т.к. это непосредственно следует из требований Стандарта 4.2.3. Для удобства дальнейшего рассмотрения сначала составим таблицу взаимодействия "умных" сенсоров-сигнализаторов с органами чувств человека.

В качестве основы для построения таблицы можно использовать аббревиатуру "МАТХЭМ", которая легко запоминается и стала своеобразной "визитной карточкой" ТРИЗ. Эта аббревиатура, хотя и не вполне корректная с точки зрения традиционной науки, тем не менее доказала свою пользу за время многолетнего использования. В результате, мы определим, какие поля могут влиять и на какие именно органы чувств (см. Табл.1). Кстати, из такого подхода, возможно, и возникла идея выделения Акустического поля из Механического, так как они регистрируются различными органами чувств.

Таблица 1: Детектирование сигналов сенсоров-сигнализаторов.

ГЕНЕРИРУЕМОЕ ПОЛЕ	ОРГАН ЧУВСТВ	ДЕТЕКТИРОВАНИЕ
Механическое	Осязание	Механический толчок, вибрация.
Акустическое	Слух	Звук.
Термическое	Осязание	Изменение температуры.
Химическое	Обоняние	Запах вещества, или химической реакции.

	Вкус	Вкус.
	Осязание	Химический ожог.
	Зрение	Свет и цвет реакции.
Электрическое	Осязание	Удар током.
	Вкус	Электролиз слюны под действием электричества.
	Обоняние	Запах озона.
Магнитное	?	?
Электромагнитное	Зрение	Изменение цвета, или интенсивности свечения.
	Обоняние	Запах озона.

Следует отметить, что в результате построения таблицы видно, что только магнитное поле человеком, в отличие от птиц, никак сознательно не ощущается. Из представленной таблицы также объясняется правомерность введения в систему ресурсных веществ. Действительно, появление запаха озона при электрическом разряде, или при интенсивном радиоактивном излучении выглядит в этом контексте вполне разумным. Точно так же выглядит, введение в бесцветный, безвкусный и не обладающий запахом метан сверхмалых количеств метилмеркаптана, который обладает очень сильным запахом. Такое введение следует из правил построения комплексного веполя по Стандарту 4.2.2. Утечка бытового газа ощущается человеком без дополнительных приборов. Это, по сути, введение в неощущаемое химическое поле компонента, который может быть непосредственно определен человеком. Несомненно, можно было бы включить в таблицу и более экзотические эффекты, например свечение Черенкова-Вавилова, но не стоит чрезмерно усложнять рассматриваемую систему.

Для оценки всего спектра уже имеющихся и возможных УМ построим таблицу. К сожалению, несмотря на декларированный приоритет использования в технических системах УМ их выбор ТРИЗом никак не регламентировался. В то же время, как это часто бывает, один из инструментов, способных помочь в практической работе, лежит прямо под ногами. Эта во первых та самая МАТХЭМ, а во-вторых традиционная морфологическая таблица, которая официально отвергается некоторыми ТРИЗ специалистами, но, тем не менее, в ТРИЗе широко используется. Обычно, применение МАТХЭМ ограничено достаточно частым, использованием в качестве подсказки при выборе полей для нейтрализации вредного эффекта, или для форсирования взаимодействия в веполе. В дальнейшем, чтобы не вступать в длительный спор с блюстителями неизменности ТРИЗ терминологии, но и не противоречить более устоявшейся научной терминологии, будем называть их "техническими полями". В то же время, дополним Химическое поле очень важной добавкой в виде поля Биологического.

Для того, чтобы рассмотреть все варианты в системе "воздействие-вещество-отклик" построим матрицу с двумя небольшими отличиями от общепринятой. Во-первых диагональ не вычеркивается. На первый взгляд это кажется парадоксальным: ведь воздействие вызовет тот же самый отклик. В действительности, такое изменение традиций вызвано тем, что в рамках одного и того же поля присутствуют совершенно различные воздействия. Кроме того, такое построение автоматически приводит к учету изменения интенсивности данного технического поля. Во-вторых, в строку Воздействий внесем самое важное из них - время. Пример такого подхода представлен в Таб. 2.

Следующим шагом будет установление, какие именно поля могут быть преобразованы нашими сенсорами в доступную человека форму. В Табл. 2 представлены как примеры реального использования данной трансформации, так и гипотетические возможности в виде зависимости Воздействующее Поле (Воздействие) - Поле Отклика (Отклик). Эта таблица является отражением Стандарта 4.2.1. и соответствует построению "измерительного" веполя.

Любое предлагаемое новшество только тогда чего-нибудь стоит, когда оно не только не противоречит существующим данным, но и позволяет предложить что-то новое. В представленной таблице представлены все возможные варианты воздействий и откликов на них. Кроме того, в таблицу внесены все основные УМ. Внесенные эффекты взяты из физических справочников (Энциклопедия "Физика в Интернете" - <http://www.nsu.ru/materials/ssl/text/encyclopedia/physics.html>, <http://www.nsu.ru/materials/ssl/text/encyclopedia/fluid-dynamics.html>; Виртуальный фонд естественнонаучных и научно-технических эффектов - <http://www.effects.ru/index.html>, Указатель физических эффектов и явлений - Денисов. <http://lib.luksian.com/text/triz/007/>, <http://www.inventors.ru/index.asp?mode=3114>).

Как видно из Табл. 2 для изобретателей оставлено еще очень много нереализованных возможностей. Одним из приложений такой матрицы может служить задача выбора. В таблице приведены только самые простые, лежащие на поверхности примеры. То есть она может заполняться и дополняться в соответствии с пристрастиями пользователя. Хотелось бы надеяться, что предлагаемая таблица позволит получить практическую пользу при выборе нужного эффекта, или создании очередного УМ. Для удобства пользования все примеры пронумерованы в соответствии с индексами матрицы. К сожалению, не удалось полностью сохранить порядок в приведенных примерах, так как логика изложения при этом нарушается. Все примеры имеют сквозную нумерацию.

Как и следовало ожидать, среди найденных применений лидируют вещества, которые способны генерировать поле, которое наиболее легко определить человеку без специальных приборов - ЭлектроМагнитное: световое и цветное.

0. К сожалению, вещества, сигнализирующие о потраченном времени, отсутствуют. С определенной натяжкой таким веществом можно было бы назвать кислоту в кислотном взрывателе, если она не взрывает мину, а капает вам на палец. Однако, такое воздействие не является обратимым.

1. Этот класс явлений представлен целым набором эффектов. Однако, пока не удалось обнаружить ни одного случая использования УМ, способного информировать человека о каком-либо механическом воздействии. В то же время, известны полимеры, меняющие цвет при механической нагрузке. Использование таких УМ могло бы быть полезным, например, при анализе нагрузок на конструкции. Как вариант УМ можно рассматривать иницирующие взрывчатые вещества (ИВВ), которые взрываются от удара, образуя ударную волну, звук и тепло. В свое время петарды использовались для предупреждения машинистов паровозов о том, что путь занят.

2. Представителей этого класса среди УМ пока не обнаружено.

3. Температурные воздействия являются очень важными в целом ряде отраслей. Поэтому не удивительно, что именно этот раздел представлен достаточно полно.

3.7а Самым известным видом УМ -сигнализаторов являются уже упомянутые выше термочувствительные этикетки на пивных бутылках. Такие термохромные материалы сейчас используются в самых различных областях.

3.7б Это, в том числе, термочувствительные полимеры, которые изменяют цвет в зависимости от температуры. В настоящее время создан полимер, который изменяет цвет с красного на желтый при + 82°C (температура, при которой человек получил бы ожоги). Позже удалось разработать способ введения данного полимера в обычные пластики, а также в резину, краски, чернила, что принципиально важно для внедрения новой технологии. Новый материал можно использовать для создания посуды, которая будет менять свой цвет при нагревании, что обезопасит от ожогов (<http://www.simplex.nnov.ru/cgi-bin/pnews/pnews.cgi?all>).

3.7в Термохромные пластмассы вызвали немалый интерес, и на рынках, связанных с производством детских и медицинских товаров, игрушек и сувениров. Такие добавки позволяют изделию "показывать" изменения в температуре ярко выраженной сменой цвета. (<http://www.simplex.nnov.ru/cgi-bin/pnews/pnews.cgi?all>).

3.7г Ну а реклама тефлоновых сковородок с термоиндикатором уже просто навязла в зубах!

4. Не менее важным для человека является индикация различных химических соединений. Например, использование УМ для индикации сохранности продуктов сейчас получило широкое распространение в таких коммуникативно развитых странах, как США, Австралии и Японии под названием "активная" или "интеллектуальная" упаковка. Основная функция "активной" упаковки заключается в ее влиянии на продукт, продление срока его годности и сохранения потребительских качеств, поэтому она будет рассмотрена в разделе "Прочие преобразователи". "Интеллектуальная" упаковка призвана анализировать влияние окружающей среды на состояние продукта и проинформировать об этом состоянии потребителя.

4.7а Молочные пакеты могут нести на себе метку, которая обесцвечивается, если пакет долго находится при комнатной температуре.

4.7б Крошечные диски - размером с точку - закрепляются в упаковочной пленке. Каждый диск работает по типу диффузной технологии. Когда газы, выделяемые из несвежих продуктов, известные как измененные аминокислоты, заполняют пространство под упаковкой и реагируют с химикатами дисков-индикаторов, точки меняют свой цвет, таким образом сообщая покупателю о том, что товар испортился. Уже предполагается возможность использования подобных индикаторов при упаковке говядины, свинины, курицы и даже в упаковке готовых продуктов (<http://www.simplex.nnov.ru/cgi-bin/pnews/pnews.cgi?all>). Аналогично работают бумажные индикаторы качества рыбопродуктов (АС СССР №1709824). При появлении первых признаков разложения рыбных продуктов индикатор изменяет цвет и сигнализирует об опасности. Предлагаемые индикаторы позволяют определять появление продуктов разложения рыбы (аммиак и амины) в воздухе при их содержании около 7-10 мг/м<sup>3</sup>.

4.7в О чем еще могут сигнализировать нам УМ? Ну, естественно, о том, что нас больше всего волнует: о здоровье. Например, уже давно используются бумажные индикаторы, которые предупреждают диабетиков о приближении приступа по повышению содержания сахара ацетона и кетоновых тел в моче и крови. в моче (<http://www.ntatm.ru/index.php?page=58>). Предположим, что это не так уж и удобно - все-таки необходим туалет. Хорошо, тогда того же самого эффекта можно достичь, если определять концентрацию кетоновых тел и фенолов в выдыхаемом воздухе при нарушении обмена веществ и диабете. А индикаторный состав можно, например, поместить в карамель, или жевательную резинку. А так, как эти продукты содержатся и в крови, и в поту, то может быть небольшая вставка на браслете избавит больного от необходимости бегать в туалет с индикатором?

4.7г Еще удобнее разработанная учеными Техасского университета совместно с Penn State Chemical Engineering "умная татуировка", предупреждающую больных диабетом, о том, что у них понижается уровень глюкозы. Метод основан на свечении молекул, когда уровень глюкозы в организме становится ниже нормы. "Умная тату" вводится под кожу, а ее специальные молекулы остаются подвижными. По словам исследователей, когда метод будет усовершенствован, больные диабетом смогут контролировать уровень глюкозы, получая показания свечения на специальные часы ([http://www.dialand.ru/news/2002/02\\_09.htm](http://www.dialand.ru/news/2002/02_09.htm)).

4.7д Индикаторами болезни также могут также быть: аммиак при гастрите, который вызывают бактерии *Helicobacter Pylori*; диметиламин и окислы азота при воспалительных процессах; фенилуксусной кислоты при фенил-кетанурии; хлор-ионы при муковисцидозе (АС СССР №1709824).

4.7е Неплохим подспорьем на кухне, или в гараже могла бы стать табличка, содержащая комплексное химическое соединение родия (I)  $[\text{Rh}(\text{CO})_2(\text{бенз-2,1,3-тиадиазол})\text{Cl}]$  которая предупреждает вас о превышении содержания угарного газа. Например бумага, обработанная раствором этого вещества, в присутствии СО мгновенно меняет цвет с желто-оранжевого на фиолетово-синий. Визуальное изменение окраски наблюдается при появлении опасной для

здоровья концентрации оксида углерода в атмосфере. Тем более, что надпись может проявляться многократно и исчезает после проветривания (РФ № 2087478).

4.7ж А в нынешних условиях, когда стала реальностью возможность террористических актов с использованием химического оружия, подобные индикаторы пригодятся и для предупреждения о химической атаке (АС СССР №1709824).

4.7з Однако, такие сенсоры могут быть полезны не только в быту. Например, изменение цвета самолета сигнализирует о начавшейся под слоем краски коррозии металла. Такая краска состоит из прозрачного акрилового лака, в который добавлен известный индикатор фенолфталеин, окрашивающийся в розовый цвет в щелочной среде. Между тем при коррозии алюминиевого сплава возникают щелочные ионы. Опыты показали, что фенолфталеиновая краска позволяет заметить нанесенные коррозией повреждения глубиной менее 15 микрон. Другой вариант включает соединение, которое начинает светиться под ультрафиолетовыми лучами при определенном повышении щелочности. По силе этого свечения можно делать выводы о размере повреждения (Science News v.152, № 23, 1997. Индикатор коррозии - НИЖ, БИНТИ № 05, 1998).

4.7е Обычная прокладка в химическом оборудовании может одновременно являться детектором утечек опасных и токсичных веществ (фтористая и серная кислоты, фосген, цианиды и пр.) из трубопроводов. Прокладка, названная по имени изобретателя LS-Baker, производится фирмами Техасо и Flexitallic и имеет вид спиральной намотки из ПТФЭ или наполнителя флексикарб с красителем в качестве детектора (ЖУРНАЛ Eureka, ТОМ 18, Вып. 5, 1998, с. 51, РЕФ.ЖУРНАЛ: Общие вопросы химической технологии (Вып.св. тома), ШИФР=19И, ВИНТИ N РЖ98.22И466).

4.7ж Между прочим, самые обычные цветные цеолиты и индикаторные силикагели, которые изменяют окраску под действием сорбированной влаги, тоже подходят под определение УВ.

5. Сигнализаторов о наличии электричества тоже, пока, найти не удалось. В простейшем случае в качестве УМ можно использовать приятеля. Он, несомненно, закричит, если коснется оголенного провода. Правда, можно ли считать умным человека, сующего руку в розетку? В качестве системы-аналога можно вспомнить обычную неоновую лампочку в тестере пробнике. Изобретатели, где вы? Ах!!!

6. Поскольку магнитное поле нами все равно не ощущается, то и определять его, видимо, никто пока не собрался.

7. Различные электромагнитные поля - еще одна из областей, где можно предложить полезные датчики. Например, табличка, которая предупреждает о работе рентгеновского аппарата.

7.7а Для любителей загара разработаны датчики, фиксирующие дозы УФ и рентгеновских лучей. Прозрачные фотохромные кристаллы на основе KI обратимо синеют при облучении, причем они реагируют только на излучение в наиболее опасном диапазоне 220-320 нм. После хранения в темноте цвет кристаллов восстанавливается. Индикатор не позволяет точно определить дозу излучения, но информирует о превышении безопасной дозы (Threshold Limit Value of Ultraviolet Radiation - TLV). (ХиЖ-2001-№4-С.34.).

## **СЕНСОРЫ-АДАПТОРЫ**

К следующему классу можно отнести адапторы, то есть вещества, которые при определенном внешнем воздействии не сигнализируют об этом, а самостоятельно совершают некое действие, являющееся "откликом" на это воздействие и компенсирующее его влияние. По сути дела появление таких веществ отражает проявление закона о вытеснении человека. Требования обратимости свойств по отношению к этому классу УМ не являются обязательными.

Из таких материалов изготавливаются конструкции с адаптивно изменяющимися свойствами. Сейчас разрабатываются умные обшивки корпусов морских судов, самоупрочняющихся лопастей вертолетов, звукопоглощающих промышленных конструкций. В России накопленный опыт позволил выдвинуть новую концепцию создания саморазгружающихся под воздействием нагрузок конструкций за счет реализации эффекта адаптации в композитах с регулируемой анизотропией

Создаются и "умные" материалы, способные к самодиагностике - они чувствуют, где при работе возникает перегрузка и к этой перегрузке адаптируются. И обшивка самолета не дает трещин там, где на нее в одной точке обрушивается сверхнагрузка: напряжение распределяется по большой площади (<http://www.aviaport.ru/news/2003/07/11/56281.html>).

0.4 Для решения уже упомянутой задачи о сохранении лекарства британские исследователи решили ее проще, надежнее и без использования каких-либо устройств. Они предложили так видоизменить конструкцию флакончика для пилюль, чтобы его нельзя было открыть по истечении срока годности препарата. Резьба флакончика не является элементом горлышка, а представляет собой отдельную деталь в форме манжеты и крепится к горлышку специальным полимерным составом. Этот состав в течении определенного времени саморазрушается, после чего попытка отвинтить крышку с флакончика приводит лишь к тому, что резьба отделяется от горлышка и прокручивается вхолостую вместе с крышкой. (<http://www.simplex.nnov.ru/cgi-bin/pnews/pnews.cgi?all>).

1.4 Механическое воздействие. Созданы самозалечивающиеся материалы. В отличие от живых тканей, способных полностью или частично восстанавливать поврежденные участки, современные инженерные материалы "излечиванию" практически не поддаются. Именно поэтому материаловеды сталкиваются с такими явлениями, как износ и усталость материалов, ограниченный срок их службы и т.д. Однако уже в ближайшем будущем ситуация может кардинально измениться: в работе [S.White et al, Nature 409 (2001) 794] обнародованы результаты по созданию самозалечивающегося композитного материала.

Принципиальная идея этого эффекта проиллюстрирована на Рисунке. В полимерный материал, выполненный на основе эпоксидной матрицы, вводятся микрокапсулы с "залечивающей жидкостью" (циклопентадиеном) и вкрапления катализирующего вещества (так называемый катализатор Граббса на основе рутения). В нормальном состоянии катализатор не находится в соприкосновении с циклопентадиеном. Когда же в материале возникает дефект (трещина), то, распространяясь, она разрушает стенки микрокапсулы, а также в каком-либо месте выходит и на вкрапление катализатора. Циклопентадиен вытекает заполняет трещину и вступает в контакт с катализатором. Происходит реакция полимеризации циклопентадиена, которая в течение нескольких минут приводит к его затвердеванию. Как показали исследования, "залеченный" материал способен выдерживать нагрузки, близкие к первоначальным (коэффициент восстановления механических свойств составлял 75%). Заполнение микротрещин также смягчит неблагоприятные эффекты от коррозии. Эта технология увеличивает продолжительность жизни изделий в два или три раза. Способность к самовосстановлению и восстановлению герметичности также расширяет срок службы тех полимерных плат с микросхемами, где микротрещины могут приводить к механическим и электрическим неисправностям (<http://www.scientific.ru/journal/news/n190201.html>, <http://www.simplex.nnov.ru/cgi-bin/pnews/pnews.cgi?all>).

2. УМ, которые сами приспособляются к Акустическим воздействиям пока не обнаружены, а очень бы пригодились. Особенно, если у вас шумные соседи.

3. Температура. Очень важным разделом УМ -адапторов являются представители "умной" одежды. Этот класс широко использует возможности адаптации материалов к изменяющимся условиям погоды с целью повышения комфорта их владельца. Обычно используется увеличение теплового сопротивления при понижении температуры воздуха. В фирме DuPont разработана специальная программа по созданию такого текстиля (Smart Material Bulletin Volume 2002, Issue 12, December 2002, Page 4). Этому классу можно посвятить отдельную статью.

4. Химическое воздействие.

4.4а Автомобиль, который всегда чистый - это уже не фантастика. Самоочищающаяся краска, созданная на основе природных особенностей листьев лотоса, совершенствуется австралийскими исследователями. Ими изготовлены специальные примеси, которые при добавлении в любую краску позволят придать ей данные самоочищающиеся свойства. Эта краска может использоваться для покраски домов, машин, дорожных знаков и досок объявлений, которые будут



вымыты и чистыми в любое время, даже когда идет дождь. Это может в перспективе использоваться и на керамических плитках и даже помочь с проблемой вандальных надписей на стенах, которые будут смываться дождем. Самоочищающаяся краска была продемонстрирована на выставке-ярмарке идей Австралии Commercialisation Forum and Fair of Ideas, проводимой в Сиднее. ([www.sciteclibrary.ru](http://www.sciteclibrary.ru), [http://www.npp.zp.ua/news.php?theme=physica&id=73367370\\_3652133](http://www.npp.zp.ua/news.php?theme=physica&id=73367370_3652133)).

4.4б Очищать само себя может не только автомобиль, но и, например, поверхность пластика. Для этого в его состав вводится детергент, содержащий энзимы. При попадании на такую поверхность микробов они будут разрушаться энзимами. (Smart Material Bulletin Volume 2002, Issue 12, December 2002, Page 7).

4.4в Очищать воздух можно не только в комнатах. Новая краска поможет спасти от загрязнения европейские города. Такая краска нового поколения скоро поступит в продажу по всей Европе. Escoraint (Экокраска) способна поглощать вещества, загрязняющие атмосферу. Созданная британскими учеными Escoraint поглощает и нейтрализует оксиды азота (NOx) - основную составляющую автомобильных выхлопов. Оксиды азота (NOx), главным образом образующиеся вследствие вторичных реакций соединений азота, связывают с респираторными и сердечно-сосудистыми заболеваниями (<http://www.inventors.ru/news.asp?mode=258&MS=0>).

5. Подстраиваться к величине Электрического воздействия могут керамические позисторы. Их сопротивление резко возрастает при повышении температуры, вызванной прохождением тока через материал. Таким образом регулируются ток, а температура поддерживается на постоянном уровне (ИР2001, №8, С.26). Похожими свойствами обладают углеродные волокна (ИР2001, №8, С.8-9).

6. Магнитные поля и здесь оказались никому не нужны.

7.1а Оконное стекло может САМО очищать себя от грязи. Это делает новый революционный вид стекла - Pilkington Activ. Стекло имеет специальный нанослой - тонкое покрытие диоксидом титана, которое реагирует на дневной свет. Толщина слоя этого вещества на стекле - всего 15 нанометров. Реакция приводит к тому, что загрязнения практически не держатся на стекле и могут быть смыты простой водой (например, дождевой) без применения моющих веществ. Ультрафиолетовое излучение вызывает фотокаталитический эффект. В результате этого процесса органические загрязнения разрушаются. Кроме того, покрытие делает стекло гидрофильным, и вода, попадая на стекло, не скатывается в виде капель, а растекается по поверхности и смывает грязь. И вроде бы, стекло будет дороже обычного на 15-20%.

(BBC News [http://www.gazeta.ru/techzone/2004/06/09\\_n\\_113943.shtml](http://www.gazeta.ru/techzone/2004/06/09_n_113943.shtml), [www.newscientist.com](http://www.newscientist.com) 24.04.01, <http://www.membrana.ru/articles/inventions/2004/06/08/225500.html>, [http://www.activglass.com/index\\_eng.htm](http://www.activglass.com/index_eng.htm)).

7.4а Большие возможности в сбережении энергии заключены и в веществах, способных совершать фазовые переходы. Так в немецком городе Людвигс-хафене построен дом-термостат, стены которого поддерживают постоянную температуру в помещениях. В штукатурку стен введено 10-25 процентов пластиковых микрокапсул, наполненных легкоплавким твердым углеводородом - парафином. Когда температура поднимается выше 24 градусов Цельсия, парафин начинает плавиться и расходует на это часть тепла. При остывании он, напротив, выделяет скрытую теплоту плавления. Двухсантиметровый слой штукатурки с парафином обладает такими же теплоизолирующими свойствами, как двадцатисантиметровая кирпичная стена (НиЖ2004-02 БИНТИ, <http://nauka.relis.ru/cgi/nauka.pl?18+0402+18402062+html>). Аналогичные капсулы, содержащие парафин, или соли, могут быть введены также в ткань для штор.

7.4б Однако, чистота поверхностей - это еще не все достижения "умных" веществ. Ими можно очищать и воздух. Например, у фирмы Technical Consumer Products (TCP) в ассортименте есть такое изделие, как Fresh2 (<http://www.fresh2.com/>)- это первая в мире, как утверждает производитель, лампочка, освежающая воздух. Секрет в том, что лампочка покрыта двуокисью титана (TiO<sub>2</sub>), которая при подвергании флуоресцентному свету создаёт фотокаталитическую реакцию. Испытания показали хорошую эффективность таких лампочек при их использовании в ваннах и туалетах ([http://www.usfea.ru/science\\_news/tehnolog.html](http://www.usfea.ru/science_news/tehnolog.html)).

7.7a Точно также можно заставить материалы становится прозрачными и непрозрачными. Все мы знаем, что есть фотохромные солнечные очки-хамелеоны, которые становятся темнее, когда солнечный свет усиливается (<http://www.inauka.ru/press/article31414>). Тот же самый принцип может быть применен и для оконных стекол и тканей.

7.7б Кроме того, цвет или прозрачность материалов могут также изменяться под влиянием внешнего воздействия: касания, температурного воздействия, облучения светом определенной частоты. Так, ручка зубной щетки, может менять цвет, если держать ее дольше двух минут, что можно использовать, чтобы поощрять детей чистить зубы подольше, придавая элемент "волшебства" скучному процессу и давая родителям возможность контроля (<http://www.futura.ru/index.php3?idart=65>).

7.7в Однако, не только стекла могут менять свой цвет. Изменение цвета дома при применении фотохромной краски также поможет сократить затраты энергии на его отопление и охлаждение (КРАСКА-ХАМЕЛЕОН. ХиЖ-2001-№6-С.33).

## **ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ**

Выделение преобразователей в отдельный класс может, конечно, вызывать вопросы, так как все УМ так или иначе преобразуют энергию внешнего воздействия. Однако, с точки зрения функционального подхода такое деление вполне целесообразно.

## **ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ-АКТУАТОРЫ**

По нашему мнению, к следующему классу можно отнести вещества, которые при определенном внешнем воздействии выполняют механическую работу, которая может быть использована для создания "отклика" на это воздействие. Как уже было сказано, этот вариант является частным случаем общей системы отклика на внешние воздействия. Такие вещества, выполняющие функции устройств, называемых актуаторы, было бы целесообразно назвать так же. В Табл. 2 эти материалы занимают первую колонку. Требование возможности многократного использования является обязательным.

Рассмотрим первую ячейку таблицы. Как мы условились, она отражает не изменение воздействующего поля, а изменение его интенсивности. Для механического воздействия это будут случаи:

- Ослабление механического воздействия - различные амортизаторы,
- Сохранение механического воздействия - различные аккумуляторы движения, например маховики,
- Усиление механического воздействия - инициирующие взрывчатые вещества, реагирующие на удар.

Естественно, что в данном обзоре нет смысла рассматривать обычные механические амортизаторы. Однако, существуют системы, эластичность которых зависит от скорости механического воздействия. Кроме известных пластмасс в этом качестве можно использовать и композиты.

1.1a Например специалисты из университета Делавэра (University of Delaware) и научно-исследовательской лаборатории армии США (U.S. Army Research Laboratory) создали особое вещество STF (Shear Thickening Fluid) - это жидкая броня для военнослужащих. Нынешние бронежилеты не могут должным образом защитить те части тела солдат, которым необходимы подвижность и гибкость, в первую очередь - руки и ноги. Исследователи создали смесь из микроскопических частиц кварца в полиэтиленгликоле. Когда материал погружают в STF, кварцевые частички поглощаются волокнами ткани. В обычном режиме ткань сохраняет гибкость, но когда материал встречается с внезапным напряжением, вроде попадания пули, частицы кварца автоматически создают дополнительное сопротивление. Предполагается, что эту технологию можно будет использовать для создания, например, пуленепробиваемых брюк. (Washington ProFile. Membrana <http://news.pravda.ru/index.html>).

1.1б Похожий эффект можно получить при использовании так называемых "градиентных полимеров", созданных в ИНЭОС РАН ([www.chem.msu.ru/rus/journals/jvho/2001-3/123.pdf](http://www.chem.msu.ru/rus/journals/jvho/2001-3/123.pdf)).

1.1в Сюда же можно отнести и тиксотропные краски. Если применять жидкие краски для получения толстой пленки на вертикальных поверхностях, потребуется нанесение как минимум 4 -5 слоев. Если же использовать высококачественные, тиксотропные краски, то такое покрытие можно получить за один проход. Тиксотропные краски имеют густую консистенцию в спокойном состоянии, при механическом воздействии они разжижаются, а после снятия такого воздействия снова приобретают желеобразную консистенцию ([http://info.aorta.ru/home\\_dacha/20.htm](http://info.aorta.ru/home_dacha/20.htm)).

1.1г Новой разновидностью являются так называемые лиофобные наноматериалы. Они представляют собой многокомпонентную систему, состоящую из пористой матрицы и лиофобной, то есть несмачивающей ее, жидкости. Если такую систему сжать - она нагревается. Отдавая тепло, система опять расширяется. Фактически это обратимый тепловой аккумулятор с фазовым переходом, превращающий тепловую энергию в механическую и наоборот. Благодаря своим удивительным способностям система может использоваться как преобразователь тепловой энергии в двигателях, холодильниках и стать основой для невиданных прежде энергетических установок ([http://www.edu.ru/grants/\\_ingz/allstatya.asp?table=ingzNauka&id=296](http://www.edu.ru/grants/_ingz/allstatya.asp?table=ingzNauka&id=296)).

Использование "умных" веществ в качестве аккумуляторов механической энергии пока не отмечено. Однако, вещества (типа резин), которые были бы способны деформироваться, длительное время сохранять деформацию, а затем возвращать запасенную энергию наверняка нашли бы применение.

2. О преобразовании звука в механическое движение пока никто не додумался. Аналогом может быть только крик возницы на лошадь, да громогласный матерный приказ солдатам идти в атаку.

3. Самый обширный раздел - это отклик на температурные воздействия. Здесь прочно обосновались вещества и сплавы с "памятью формы", использующие физическое явление, при котором пластически деформированный металл восстанавливает свою первоначальную форму, обычно при нагреве - Shape Memory Alloys (SMA). Информацию по сплавам с "памятью формы" широко представлена в Интернет (обзор изобретений 'металлургия сплавов' - <http://www.sciteclibrary.ru/texsts/rus/analit/an091/03.htm>, Основная информация о сплавах с памятью формы - <http://smet.tomsk.ru/rus/alloys.htm>, Металлы с памятью формы - [http://naukaspb.ru/Demo%20Metall/4\\_25.htm](http://naukaspb.ru/Demo%20Metall/4_25.htm), Металлы и сплавы в химии и технике - <http://doklad.ru/monika/doklad/view/zip-2338-1.html>, Научной электронной библиотеки сплавов с памятью формы - <http://www.mateks.ru/esma/russian/>, Сплавы с памятью формы - <http://www.tech-hitech.com/esma/>).

3.1а На основе таких материалов создан робот, способный двигаться. Инженеры Шиншири Хираи и Юта Судзияма из японского университета Ritsumeikan построили несколько прототипов робота-колеса, приводящихся в движение за счет эффекта "памяти формы". Роботы могут преодолевать ровные поверхности и уклоны до 20 градусов. Аппараты представляют собой колеса диаметром 4 см и толщиной 1 см. Их обод сделан из упругого пластика, а спицы - из металла с памятью формы. (<http://news.izvestia.ru/tech/news86305>).

3.1б Кроме традиционных применений этот эффект может иметь и достаточно неожиданное применение. Немецкие хирурги с недавних пор применяют шовный материал с памятью формы. Нить из специальной пластмассы заранее завязывают в узелок, нагрев до 40 градусов Цельсия. Затем ее охлаждают до комнатной температуры и распрямляют. Когда хирург делает шов, нить нагревается до температуры тела, и через 20 секунд на ее конце сам собой возникает самозатягивающийся узелок. Шов закреплен (НИЖ - № 03, 2004 г. 18 - БИНИТИ (БЮРО ИНОСТРАННОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ). <http://nauka.relis.ru/cgi/nauka.pl?18+0403+18403032+html>).

3.1в Уже упомянутые лиофобные наноматериалы. Если такую систему нагреть, она сжимается, накапливая тепло. Отдавая тепло, система опять расширяется. Защитные клапаны и мембраны, сделанные из таких материалов, автоматически срабатывают при изменении температуры (перегрев) или давления (разгерметизация) без всякого вмешательства человека. Они способны самостоятельно контролировать производственный процесс, предотвращать последствия нарушений технологического режима и ошибок персонала и останавливать работу оборудования в

случаях угрозы аварии. Подобные "умные" материалы могут применяться для повышения надежности в химическом или нефтеперерабатывающем производстве, в энергетике, для защиты емкостей, находящихся под давлением, при перевозке и хранении опасных или ядовитых грузов. Весьма их использование и в повседневной жизни: допустим, парниковая пленка реагирует на потепление или похолодание и сама открывает и закрывает грядки. ([http://www.poisknews.ru/\\_ingz/allstatya.asp?table=ingzNauka&id=296](http://www.poisknews.ru/_ingz/allstatya.asp?table=ingzNauka&id=296)).

3.7а Одним из видов термохромных материалов является "Умное" стекло, созданное учеными из лондонского университетского колледжа. Оно меняет свои оптические свойства в зависимости не от освещенности, а от температуры воздуха. Это сорт стекла с тончайшим покрытием из диоксида ванадия с добавками. Покрытие проявляет двойственные свойства - то ведет себя как металл (и тогда хорошо отражает инфракрасное излучение), то ведет себя как полупроводник и, соответственно - пропускает тепловое излучение. При этом, пока вокруг холодно, стекло остается обычным, а при росте температуры - уменьшает нагрев комнаты на 50%. Специалисты добились двух важных вещей: нужной температуры перехода пленки из одного состояния в другое (это 29 градусов Цельсия) и технологичности покрытия. Эту пленку можно напылять на стекло прямо в процессе его выплавки. Правда, нужно будет решить задачу "цветоподавления". Дело в том, что в нынешнем варианте "умное" стекло имеет желто-зеленый оттенок. (MEMBRANA.Ru <http://news.izvestia.ru/tech/news87474>).

4.1а Следующим воздействием является химическое. Роберт Майкельсон, изобретатель из Джорджии, разработал "возвратно-поступательный химический мускул", непосредственно превращающий химическую энергию в механическое движение. Так как сейчас идет патентование двигателя, автор пока не раскрывает подробности его устройства и работы. Но он уже изготавливает на основе "химического мускула" летающие модели насекомых. Можно сделать и модель рыбы с работающими плавниками или бегающую мышь. (НИЖ, БИНТИ № 6, 1999 г.).

4.1б В качестве "мускула" могут быть использованы также набухающие пористые сорбенты и катиониты. Показана возможность их применения в качестве сенсорных элементов, и устройств распознавания и идентификации загрязнителей в системах экологического мониторинга (<http://ecology-group.irk.ru/sorbent.html>).

5. Естественно, что наибольший интерес представляют материалы, производящие механическую работу в ответ на воздействие электрического тока, то есть "мускулы". Это широкий круг различных материалов, осуществляющих обратный пьезоэффект.

5.1а Это, например различные пьезокерамические актуаторы (Piezoceramics actuator <http://www.spie.org/web/oer/february/feb98/smartmat.html>).

5.1.б Самыми известными и здесь являются сплавы с "памятью формы". В действительности, такие разработки начались в 1950-х, но в нашу жизнь они входят активно только сейчас. Главным недостатком SMA до недавнего времени считался ограниченный срок службы: количество "циклов жизни" сплавов не превышало тысячу, после чего "мускулы" изнашивались. Эту проблему смог решить шотландский инженер Рода Макгрегора (Rod MacGregor), основавший в 1998 году неподалёку от Силиконовой долины компанию NanoMuscle. Ему удалось преодолеть эти ограничения, используя "улучшенные" частицы титана и никеля, а также микрокомпьютерные чипы со специализированным программным обеспечением. Теперь "жизненный цикл" наномускулов превысил миллион, их сделали более надёжными и способными к восстановлению. Причём устройство весом в один грамм способно поднять вес в 140 граммов. Увеличение "мускула" в размере с 50 мм до 150 мм, по расчётам Макгрегора, приведёт к увеличению грузоподъёмности в 9 раз. К первоначальной-форме деталь возвращается под воздействием несильного электрического сигнала. В обесточенном состоянии деформируется обратно. Работают "мускулы" практически бесшумно.

Наномускул состоит из пластинок длиной около 35 мм, которые уложены на друг на друга и ходят взад-вперёд. Контролирует движение 8-битовый микропроцессор размером с семечку. Энергопотребление - 1,8 Вольта. Температуры от -70 до +75 по Цельсию. Стоимость одного мускула при массовом производстве не превышает 50 центов. Обычный электрический двигатель того же размера и эффективности стоит приблизительно \$300, а при его производстве требуются экзотические материалы типа бериллия. (<http://www.membrana.ru/articles/technic/2003/02/26/195100.html>, <http://www.nanomuscle.com/>).

5.1в Однако, не только металлы могут выступать в качестве "актуаторов". Так американские ученые объявили о создании нового органического полимера, который обладает способностью сокращаться под воздействием очень слабого электрического сигнала. Этот полимер сможет выполнять роль искусственной мышцы. Новый полимер делает возможным создание искусственной кожи (smart skin), позволяющей ослабить сопротивление воды или воздуха. Также этот полимер может применяться как микроскопический насос подающий в организм больного лекарства, в частности, инсулин (<http://www.medicina.am/smi.php?p=212>).

6.1 Воздействие магнитного поля также может вызывать механические перемещения. Этот эффект носит названия "магнитострикционного. Как правило, механические изменения при этом достаточно невелики. Однако, например специальная резина, созданная на физическом факультете МГУ и ГНИИХТЭОС, может в этом случае сильно изменять размеры. Выполненная из него пробка, оказавшись в магнитном поле, существенно уменьшается в диаметре и легко входит в горлышко бутылки, а при устранении этого поля снова расширяется и крепко ее закупоривает. Извлечь такую пробку из горлышка можно лишь при повторном использовании магнита. Деформация нового материала из магнитном поле в несколько раз больше, чем у любых других пьезо-, электро- и прочих магнитных материалов (см. "Наука и жизнь" № 1, 1991 г.). Использовать магнитоэластики можно очень широко - и не только в технике, но и в медицине. Предполагается, например, осуществлять с их помощью блокировку мельчайших кровеносных сосудов, подводящих кровь к какой-либо опухоли, и прекращать тем самым ее дальнейшее развитие (НиЖ, БНТИ № 02, 2000 г.).

7.1 Найти упоминание о веществах, способных изменять размеры под действием электромагнитных полей, или света, удалось совсем недавно. Группой исследователей из Германии и Великобритании впервые экспериментально показано, что некоторые полимеры изменяют форму также и под действием света. На "макроуровне" это проявляется в значительном изменении линейных размеров пленки эластомера: авторы работы зафиксировали изменение порядка 20% (полоска полимера стала короче, увеличившись в толщине). После "выключения" света пленка возвращается в исходное состояние ([http://www.nature.ru/db/section\\_page.html?page=5&s=260000020](http://www.nature.ru/db/section_page.html?page=5&s=260000020)).

В заключение раздела хотелось бы рассмотреть случаи возможного комплексного применения таких актуаторов. Например проектируются "скользящие" подводные лодки. ([http://bio.fizteh.ru/student/diff\\_articles/nanotech\\_xxi.esp](http://bio.fizteh.ru/student/diff_articles/nanotech_xxi.esp)) и "морфные" самолеты, способные изменять свою форму в полете. Например, можно было бы изменять форму воздухозаборника двигателя, так чтобы он оптимально соответствовал различным скоростным режимам полета. Фюзеляж самолета можно заставить "сжиматься" по мере сокращения запасов горючего в баках. "В прошлом уже делались попытки научиться изменять форму крыльев с помощью классических механических решений, основанных на механических приводах, но использование современных материалов окажется более эффективным. В качестве таких материалов, наряду с другими, рассматриваются сплавы с эффектом памяти, которые могут изменять свою форму под действием термоэлектрического эффекта, а также пьезоэлектрики, сжимающиеся либо удлиняющиеся при пропускании через них электрического тока (по материалам сайта AviationNow Источник: CNews.ru [http://www.rol.ru/news/misc/spacenews/02/05/13\\_004.htm](http://www.rol.ru/news/misc/spacenews/02/05/13_004.htm)).

Для того, чтобы избежать нежелательной вибрации и увеличению шума, ученые разрабатывают новые, УМ, регистрирующие вибрацию и передающие информацию специальному регулятору, который в свою очередь посылает обратно сигнал, заставляющий хитрый материал изменить свою форму так, чтобы снизить уровень вибрации. В НИИ Общества Фраунгофера ведется разработка столь тонких пьезоэлектронных волокон, которые, не нарушая структуры легких материалов, регистрируют изменения и соответственно реагируют на них. Результаты этих научных исследований позволяют не только сократить расходы на горючее, но и в значительной степени улучшат экологическую ситуацию (<http://www.campus-germany.com/russian/print/4.32.3.2625.html>).

Такие же подходы позволили создать костюм для летчиков, который облегчает перегрузки (Smart muscles suits Smart Material Bulletin Volume 2002, Issue 12 , December 2002, Page 6), или покрытие, имитирующее кожу дельфина (Skin clean dolphins Smart Material Bulletin Volume 2002, Issue 12 , December 2002, Page 7).

## **ПРОЧИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ**

0.4а Широко представлены преобразователи, выделяющие различные химические вещества в процессе эксплуатации. Уже упоминавшаяся " активная" упаковка призвана не только анализировать состояние продукта но и влиять на него, например подавляя активность вредных микроорганизмов. Упаковка позволяет регулировать микробиологический баланс внутри, в связи с чем срок хранения продуктов в такой упаковке продлевается в 2-3 раза (<http://www.simplex.nnov.ru/cgi-bin/pnews/pnews.cgi?all>). Вообще, упаковочные материалы по определению являются многофункциональными (упаковка - это средства, обеспечивающие защиту продукции и окружающей среды от повреждений и потерь и облегчающие процесс обращения), а лучшие образцы упаковок - активными из-за необходимости предохранять продукцию от физического, химического и биохимического старения.

Особенность, присущая активной пленке для упаковки, состоит в том, что ее полимерная основа содержит целевые компоненты, которые выделяются внутрь упаковки и предохраняют изделие от старения, оказывая на него воздействия физической, химической или биологической природы. При нагревании смеси полиэтилена (ПЭ) и углеводородного масла (УМ) выше температуры плавления ПЭ образуется коллоидный раствор. В процессе его охлаждения формируется структурированная система, которая состоит из пористой ПЭ матрицы с системой пор, заполненных УМ. Растворенные в УМ активные компоненты перемещаются по каналам пористой системы. Такая структура является неравновесной, поэтому в полимерной матрице возникают напряжения, обуславливающие вытеснение жидкости на поверхность пленки. Этот самопроизвольный процесс, который может продолжаться в течение нескольких лет, называется синерезисом. При эксплуатации такой пленки беспористый слой выполняет барьерные функции, а пористый является носителем активного вещества.

0.4б Упаковочные полимерные пленки могут иметь широкий спектр применения: по предохранению упакованных металлоизделий от коррозии, пищевых продуктов от микробной порчи, текстильной продукции от биоповреждений, изделий медицинской техники от инфекции (<http://www.propack.by.ru/material21.shtml>).

1. Механические воздействия могут преобразовываться в другие виды самыми различными путями. Самым распространенным является пьезоэффект. Несомненно, пьезоэлектрики отвечают понятию УВ.

Дополнить что-либо к уже сказанному по поводу использования Акустического, Термического и Химического воздействий пока нечего. Хотя, при известном допущении можно внести в список УВ подогревающиеся пакеты и стельки. Они благополучно хранят тепло, а затем, под небольшим механическим воздействием (перегиб), потихненьку отдают его, согревая ваши ноги. Может быть слишком скромно для УВ, но вполне соответствует сформулированному определению.

5. Естественно, что наиболее широко представлены вещества, изменяющие свои свойства под действием электрического сигнала. Это естественно, так как именно электричество является наиболее удобным инструментом управления.

5.3а Эффект Пельтье. Это тема для отдельного разговора.

5.4а Наиболее широко распространенным случаем изменения химических (точнее физико-химических) свойств под действием электрического тока является изменение вязкости электрореологических жидкостей. Такие жидкости широко используются в муфтах, а с недавнего времени и в других устройствах. Например, на одной из моделей Cadillac использована активная подвеска переменной жесткости Magna Ride, в которой используется реологическая жидкость переменной вязкости (<http://agga.ru/HomeLife/Auto/Catalog/Cadillac.shtml>).

5.4б Весьма любопытным вариантом электрохимического воздействия, когда электрический ток изменяет адгезивные свойства материала, является клей, созданный в США. Он "отпускает", если приложить к месту склейки электрическое напряжение. Ток напряжением от 10 до 50 вольт через небольшое время (от одной секунды до одной минуты, в зависимости от окружающей температуры) вызывает разъединение склеенных деталей. Новый клей применен с успехом для крепления датчиков и измерительных приборов на крыльях и фюзеляже экспериментальных самолетов (НиЖ - № 04, 2004 г. 18 - БИНТИ (БЮРО ИНОСТРАННОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ). <http://nauka.relis.ru/cgi/nauka.pl?18+0404+18404012+html>).

5.7 Электрохромный эффект используется в настоящее время достаточно широко. Он заключается в обратимом изменении оптических свойств материала (светопропускания, цвета и т.д.). Этим эффектом обладают аморфные и кристаллические пленки предельных окислов ряда переходных металлов, таких как W, Mo, V, Nb, Ti, Ni, а также гидроокиси и гидратированные окислы некоторых металлов ([http://plasma.karelia.ru/pub/nano-kurs/NANO12\\_3.shtml](http://plasma.karelia.ru/pub/nano-kurs/NANO12_3.shtml)). Этот эффект используется в двух типах электрохромных зеркал: зеркал на основе электрохромных жидкостей и на основе тонких твердых электрохромных пленок на стекле.

5.7а В зеркалах на основе электрохромных жидкостей пространство между двумя стеклянными пластинами заполнено особой жидкостью, прозрачной в обычном состоянии и темнеющей под действием электрического тока. На наружную пластину нанесен прозрачный электрод, а внутренняя пластина имеет отражающий металлический слой. При обнаружении опасности ослепления к жидкости подводится электрический ток, жидкость под его воздействием темнеет и поглощает часть света. Тем самым создается защита от ослепления.

5.7б В других конструкциях используется не жидкий электрохромный материал, а тонкая пленка оксида вольфрама. При этом отпадает необходимость во второй стеклянной пластине (металлический слой наносится непосредственно поверх пленки WO<sub>3</sub>) и герметизации. Кроме того, твердому электрохромному материалу электрическое питание требуется лишь на короткое время - для переключения. Поэтому зеркала на основе твердых электрохромных пленок следует считать более надежными и более экономичными, чем жидкостные системы ([http://www.carmirror.ru/zercalo\\_osleplenie.html#6](http://www.carmirror.ru/zercalo_osleplenie.html#6)).

5.7в Электрохромные зеркала также установлены на моделях Kia Optima и Sorento midsize SUV (Smart Material Bulletin Volume 2002, Issue 12, December 2002, Page 6).

5.7г Кроме зеркал электрохромные материалы могут использоваться для регулировки прозрачности стекол. Пластина вставляется в крышу и регулирует уровень ультрафиолетовой радиации, а также уровень тепла попадающий внутрь салона. Как следствие - дополнительные солнечные фильтры не требуются. Такие системы установлены, например, в автомобиле Maybach (<http://www.maybach.ru/ru/official/maybach03.htm>).

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В представленной статье обобщены последние данные по применению "умных" материалов в самых разных областях человеческой деятельности. Предложено дополненное определение УМ и их классификация на основе выполняемой функции. Отмечены варианты для возможного создания новых видов "умных" материалов. Предлагаемая классификация не претендует на абсолютную полноту и автор будет благодарен за высказанные замечания и дополнения. Автор также благодарен коллегам А. Кудрявцеву, В. Краснослободцеву, В. Леняшину и Г. Северинцу за помощь в обсуждении результатов.