

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИНЦИПА СОТ ДЛЯ СОЗДАНИЯ МЕБЕЛИ, ПРИМЕНЯЕМОЙ В ДЕТСКИХ УЧРЕЖДЕНИЯХ

Грибанов А.В.

г. Брянск, МБОУ «Гимназии № 7 имени Героя России С.В. Василева», 10 класс

Научный руководитель: Перминова Т.И., учитель географии и биологии, г. Брянск, МБОУ «Гимназии № 7 имени Героя России С.В. Василева»

«Природа великий учитель, особенно для того, кто наблюдателен»

Карло Гольдони

С незапамятных времён мысль человека искала ответ на вопрос: может ли человек достичь того же, чего достигла живая природа? Сможет ли он, например, летать, как птица, или плавать под водой, как рыба? Сначала человек мог только мечтать об этом, но вскоре изобретатели начали применять особенности организации живых организмов в своих конструкциях. Греческий философ Демокрит (около 460-370 гг. до н.э.) писал: *«От животных мы путём подражания научились важнейшим делам. Мы ученики наука в ткацком и портняжных ремёслах, ученики ласточки в построении жилищ...»* Прочитав высказывание Демокрита, я задумался, а что же человек взял у природы для улучшения своей жизни?

В последние годы в Брянской области стоит острая проблема нехватки помещений для детских садов и групп продлённого дня в школах. Это приводит к тому, что дети играют, учатся, кушают и спят в одной комнате. Часто мебель в дошкольных учреждениях сделана из ДСП. ДСП состоит из опилок, которые склеивают смолой. Но смола содержит ядовитое соединение – формальдегид. Так как дети проводят весь день в одном помещении, то эти выделения плохо влияют на их здоровье. Ещё одним недостатком мебели из ДСП является её вес. Мебель из ДСП трудно передвигать, поэтому сложно сделать мебель трансформирующейся, многофункциональной. Всё это приводит к нерациональному использованию помещения, к вреду здоровья детей. Создание сверхлёгкой экологически-чистой мебели поможет решить проблему нехватки помещений для детских садов и групп продлённого дня в школах.

Целью моей работы явилось выявление эффективности конструкции сот для создания сверхлёгкой экологически-чистой мебели, применяемой в детских садах и школах.

Задачами моей исследовательской работы стало:

- 1) Узнать, что изучает наука бионика.
- 2) Изучить конструкцию пчелиных сот.

3) Определить наиболее прочную форму ячейки материала при одинаковом весе.

4) Определить наиболее эффективную технологию для создания сверхлёгкого материала.

Объектом исследования стала форма пчелиных сот.

Предметом исследования послужило заимствование у насекомых принципа сот для создания сверхлёгкой экологически-чистой мебели, применяемой в детских садах и школах.

Также мной была определена **гипотеза**: действительно ли принцип сот эффективен для создания сверхлёгкой экологически-чистой мебели?

При написании своей работы я использовал труды известных учёных, таких как Е.В. Дубровский, В.А. Мезенцев, М.Г. Газе-Рапопорт, В.Д. Ильичёв, И.И. Гармаш, В. Мартека, Ю.Г. Симвков, Ц.Н. Феодосиевич, Г.И. Иванович, Ц.Б. Кац, Л.А. Блюменфельд, а также провёл собственные опыты, результаты которых отобразил в своей работе.

При работе над проектом я применял не только эмпирические методы исследования, такие как материальное моделирование, эксперимент, наблюдение, сравнение, но и теоретические: анализ, мысленное моделирование. Работа велась на протяжении года.

Бионика. История развития. Применение бионики

Датой рождения бионики принято считать 13 сентября 1960 г. – день открытия в США Международного симпозиума «Живые прототипы искусственных систем – ключ к новой технике». Однако в действительности основные концепции бионики сложились задолго до этого, а симпозиум лишь ознаменовал начало широкого международного сотрудничества в этой области (Ильичёв В.Д.).

Доисторический человек, наблюдая за окружающей природой, извлекал из неё некоторые уроки, которые помогали ему создавать полезные устройства. Такой подход можно назвать бионикой. В какой-то степени элементы бионики вложены в изобретение колеса, ножа и других инструмен-

тов. Русский ученый Н.Е. Жуковский разработал методику расчёта подъёмной силы крыла самолета на основе изучения полёта птиц. Но сама идея применения знаний о живой природе для решения инженерных задач принадлежит Леонардо да Винчи, который пытался построить летательный аппарат с машущими крыльями, как у птиц: орнитоптер.

Бионика – наука, изучающая живые организмы с целью использования результатов познания механизмов их функционирования при конструировании машин и создании новых технических систем [9]. Бионика тесно связана с биологией, химией, физикой и инженерными науками.

Название бионики происходит от древнегреческого слова «бион» – ячейка жизни. Но наряду с привычным термином **бионики**, известен также термин «**биомиметика**» (от древнегреческого «био» – жизнь и «миметика» – подражание) в значении – подход к созданию технологических устройств, при котором идея и основные элементы устройства заимствуются из живой природы. Этот термин используется в Америке и в других англоязычных странах.

В настоящее время бионика начала активно развиваться. Это связано с тем, что современные технологии переходят на наноуровень и позволяют копировать природные аналоги с небывалой ранее точностью. Современная бионика, в основном, связана с разработкой новых материалов, технологии по созданию которых были заимствованы у природных аналогов, робототехники и искусственных органов. Бионика нашла применение не только в высокотехнологичных продуктах. Её также используют в дизайне и архитектуре.

Различают 3 вида бионики:

1) Биологическая бионика. Изучает процессы, происходящие в биологических системах. Биологическая бионика базируется на самых разных разделах биологии и медицины, использует их достижения для выявления определенных принципов живой природы, которые могут быть положены в основу решения тех или иных проблем инженерного плана.

2) Теоретическая бионика. Содержанием теоретической бионики является разработка математического аппарата биологического моделирования, а также математических моделей явлений и процессов, протекающих в живых организмах, живых системах или даже в обществах организмов.

3) Техническая бионика. Сферой деятельности технической бионики является реализация математических моделей или иных сторон деятельности живых организ-

мов, часто полученных в ходе исследований биологической и теоретической бионики, с целью усовершенствования существующих и создания совершенно новых технических средств и систем, превосходящих по своим техническим характеристикам уже созданные ранее и действующих по биологическому принципу.

Множество принципов постройки зданий и других сооружений человек заимствовал у природы. Например, результат совместного изучения биологами и архитекторами Эйфелевой башни был крайне неожиданным: оказалось, что изящная конструкция символа Парижа практически полностью повторяет расположение костных балок большеберцовой кости, выдерживающей тяжесть человеческого тела. Французскому профессору Роберту Ле-Риколе человеческий скелет дал идею создания конструкций, которые имеют несущие рёбра подобно костям. Строение арочного моста практически полностью повторяет позвоночно-рёберный каркас позвоночных животных.

Не только обращение к наиболее высокоорганизованным животным – птицам и млекопитающим – оказывается наиболее удачным. Например, французские инженеры создали мост, в основу конструкции которого положен принцип строения скелета морской звезды, имеющей треугольную форму. Прочность полученной конструкции превзошла все результаты теоретических расчетов. Используемый в современном строительстве монолитный метод является практически полным повторением многовекового образования коралловых рифов, образующихся над рифовыми кораллами в Тихом океане.

Почему пчёлы выбрали шестигранную форму для строительства сот?

В прошлом году я побывал на пасеке моих родственников и наблюдал, как пчёлы строят соты. Меня заинтересовал вопрос: почему пчёлы выбрали форму именно правильных шестиугольников для строительства сетей сот? Ведь правильные треугольники или квадраты гораздо проще в конструировании, в строительстве.

Чтобы ответить на данный вопрос, сначала необходимо выяснить, какими правильными многоугольниками можно заполнить плоскость так, чтобы между ними не было пропусков.

Итак, найдём такие многоугольники. Сумма внутренних углов выпуклого n -угольника равна $(n - 2) \cdot 180^\circ$, где n – число сторон многоугольника. Сумма углов правильных n -угольников, сходящихся в одной вершине паркета, равна 360° . Тогда прирав-

няв сумму внутренних углов к числу 360, получим следующее равенство:

$$\frac{(n-2)*180}{n} * k = 360.$$

Решаем это уравнение относительно числа k , тогда получим:

$$\left(1 - \frac{2}{n}\right) = \frac{2}{k},$$

или

$$\left(\frac{2}{n} + \frac{2}{k}\right) = 1,$$

где k – число углов, сходящихся в одной вершине паркета.

$$\text{Отсюда } k = \frac{2n}{n-2}.$$

Рассмотрим некоторые правильные многоугольники.

1. Возьмём треугольник с количеством сторон равным трём.

Тогда, если $n = 3$, то $k = 6$. А это значит, что в одной вершине множества таких фигур могут сходиться шесть правильных треугольников.

2. Возьмём квадрат с количеством сторон равным четырём.

Тогда, если $n = 4$, то $k = 4$, то есть в одной вершине могут сходиться четыре квадрата.

3. Возьмём пятиугольник с количеством сторон равным пяти.

Если $n = 5$, то $k \approx 3,3$. А так как k – не целое число, то не существует множества фигур на плоскости, где каждая фигура – правильный пятиугольник.

4. Возьмём шестиугольник с количеством сторон равным шести.

Тогда, если $n = 6$, то $k = 3$, то есть в одной вершине могут сходиться три правильных шестиугольника.

5. Возьмём семиугольник с количеством сторон равным семи.

Если $n = 7$, то $k \approx 2,8$. А так как k получили не целое число, то не существует множества из правильных семиугольников на плоскости.

Теперь рассуждаем следующим образом: $\frac{2n}{n-2} > 2$, так как внутренний угол правильного многоугольника меньше 180° .

$$\text{Значит, } \frac{2n}{n-2} - 2 > 0, \text{ или } \frac{4}{n-2} > 0.$$

По смыслу задачи значения n , k и $\frac{4}{n-2}$ могут быть только целыми, поэтому 4 делится нацело на $(n-2)$. Отсюда $n = 3, 4, 6$.

Итак, выяснили, что заполнить плоскость без пропусков можно только исполь-

зуя или правильные треугольники, или квадраты, или правильные шестиугольники.

Для того чтобы узнать, почему пчела строит соты, перпендикулярное сечение которых является правильным шестиугольником, а не правильным треугольником или квадратом, рассмотрим периметры данных фигур, имеющих одинаковую площадь. Та фигура, у которой он окажется наименьшим, будет наиболее малозатратной на количество материала (воска), необходимое для постройки множества таких фигур.

Пусть S – площадь каждой из данных фигур, а P_3, P_4, P_6 – периметры фигур, a_3, a_4, a_6 – стороны соответствующих многоугольников.

1. Тогда вычислим площадь треугольника по формуле:

$$S = \frac{1}{2} ab * \sin \alpha.$$

Подставив данные правильного треугольника в эту формулу, получим:

$$S = a_3^2 * \frac{\sqrt{3}}{4}.$$

2. Площадь квадрата вычислим по формуле:

$$S = a_4^2.$$

3. Площадь правильного шестиугольника состоит из шести площадей правильного треугольника. Тогда получим:

$$S = \frac{3a_6^2 \sqrt{3}}{2}.$$

Зная площадь каждой фигуры, можно вычислить периметр. Сначала выразим сторону каждого многоугольника через его площадь, затем найдем периметр этого многоугольника.

Выразим периметр равностороннего треугольника:

$$a_3 = 2 * \sqrt{\frac{S}{\sqrt{3}}}, \text{ тогда } P_3 = 6 * \sqrt{\frac{S}{\sqrt{3}}}.$$

Выразим периметр квадрата:

$$a_4 = \sqrt{S}, \text{ тогда } P_4 = 4 * \sqrt{S}.$$

Выразим периметр правильного шестиугольника:

$$a_6 = \sqrt{\frac{2S}{3\sqrt{3}}}, \text{ тогда } P_6 = 6 * \sqrt{\frac{2S}{3\sqrt{3}}}.$$

Для сравнения периметров фигур найдём их отношение:

$$P_3 : P_4 : P_6 = 6 * \sqrt{\frac{S}{\sqrt{3}}} : 4 * \sqrt{S} : 6 * \sqrt{\frac{2S}{3\sqrt{3}}}.$$

Разделим каждое выражение на $6 * \sqrt{\frac{S}{3}}$, получим:

$$P_3 : P_4 : P_6 = 1 : \frac{2}{3} \sqrt[4]{3} : \sqrt{\frac{2}{3}},$$

или

$$P_3 : P_4 : P_6 = 1 : 0,877 : 0,816.$$

Видим, что из трёх правильных многоугольников с одинаковой площадью наименьший периметр имеет правильный шестиугольник. Это значит, что при одинаковой вместимости мёда, выбрав правильный шестиугольник, пчёлы экономят воск, а значит и время, для построения сот.

Однако в XVII веке датский учёный Расмус Бартолин усомнился в математических способностях пчёл. Он считал, что насекомые просто старались сделать каждую ячейку как можно более крупной, и физические силы, которые при этом действовали на стенки, придавали ячейкам шестиугольную форму. В 1917 году шотландский зоолог Д'арси Томсон высказался в пользу гипотезы датского учёного: по его мнению, силы поверхностного натяжения в восковых стенках должны были превращать пузырьки восковых ячеек в шестиугольные структуры, особенно же эти силы должны были проявляться там, где встречаются стенки трёх ячеек. (Необходимо напомнить, что ещё Чарльз Дарвин высказывал предположение, будто изначально пчёлы делают ячейки сотов круглыми, однако великий натуралист не имел тому доказательств.) В 2004 году было показано экспериментально, что горячие восковые ячейки, имеющие почти круглые отверстия, остывая, принимают шестиугольную форму.

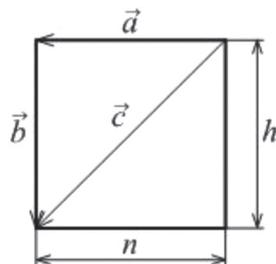
Создание, изучение технологий для изготовления и дальнейшего массового производства сверхлёгкой экологически-чистой мебели

Вернёмся к проблеме о недостатке помещений для детских садов и групп продлённого дня в школах. Изучив вопрос: почему пчёлы выбрали форму именно правильных шестиугольников для строительства сетей сот, проанализировав полученные данные, я пришёл к выводу: для создания сверхлёгкой мебели можно использовать принципы бионики, то есть заимствовать у пчёл конструкцию сот. Конструкция сот будет проявляться в сетчатой структуре материала, состоящей из множества правильных шестиугольников.

Однако ранее я исследовал фигуры только теоретически и исключительно на плоскости. Для того чтобы доказать, что трёхмерная

модель будет обладать теми же преимуществами (малый вес) на практике что и плоская модель в теории, я решил создать несколько макетов и сравнить: действительно ли шестигранная форма самая прочная при наименьшем весе. Так как теоретически я уже доказал, что именно шестиугольная форма модуля самая оптимальная из всех модульных конструкций, то решил сделать два макета по двум разным технологиям. Первый макет я создал по существующей монолитной технологии, заимствованной у коралловых рифов, а второй – применив принципы бионики: заимствовав у пчёл конструкцию сот.

Далее приступил к моделированию, разработке макетов. Я решил, что сделаю макеты, на которые будет действовать одинаковая сила тяжести (то есть $m_1 = m_2$), и буду сравнивать только максимальную силу, которую сможет выдержать каждый макет. Но в каком отношении брать ширину – n и высоту – h отдельной грани в макете из правильных шестиугольников? Рассмотрим грань в отдельности, то есть силы, действующие на неё:



\vec{a} – вектор силы поверхностного натяжения,

\vec{b} – вектор силы тяжести и силы, с которой мы действуем на тело («полезной»),

\vec{c} – вектор равнодействующей силы.

Из рисунка видно, что рассматривать отношение h/n нужно лишь в конкретном случае, поэтому я взял $h/n = 1$ (наиболее оптимальное, универсальное отношение). Но если бы сила поверхностного натяжения была бы больше суммы силы тяжести и «полезной» силы, действующей на сам материал (зависит от точки приложения сил), то $h/n < 1$, так как суммарный вектор (вектор c) был бы направлен на «удержание» силы натяжения. Наоборот, если бы сила натяжения была меньше суммы силы тяжести и «полезной» силы, то $h/n > 1$. То есть отношение h/n зависит от конкретного применения.

Также следует учитывать толщину модулей. Чем толще модуль – тем прочнее конструкция относительно вертикальных нагрузок. Так на тело действуют лишь две силы: сила тяжести и «полезная» сила. Эти две силы образуют вместе общую силу. Чем

Измерение максимальной «полезной» силы		
№ опыта	Макет (монолитная технология), Н	Макет (принцип сот), Н
1)	≈0,4	≈1
2)	≈0,6	≈1,4
3)	≈0,5	≈1,2

Макет, выполненный по	Средняя сила	
	тяжести, Н	максимальная «полезная», Н
монолитной технологии	≈0,12	≈0,5
принципу сот	≈0,12	≈1,2

больше толщина модулей, тем сила тяжести больше. Однако возрастание толщины не прямо пропорционально увеличению максимальной выдерживаемой «полезной» силы. Да, при большей толщине тело выдержит большую общую силу, но следует помнить, что общая сила складывается из двух, а это значит, что общая сила будет больше, но при этом «полезная» сила будет меньше. У наиболее тонкого модуля отношение полезной силы к силе тяжести больше, чем у модуля с толстыми стенками, однако, общая максимально допустимая сила меньше. То есть если использовать систему из тонких модулей, то отношение «полезной» силы к силе тяжести будет выше, однако такая система модулей просто не сможет выдержать нужную «полезную» силу. Поэтому невозможно вывести идеальную толщину модулей для всех случаев. Толщина модулей зависит от конкретного будущего применения модульной системы.

Выбрав макеты, которые буду создавать, разработав теоретическую базу для их постройки, возник вопрос: какой же материал для их постройки выбрать? Я решил выбрать жесткую ПВХ-пленку, так как сама по себе она представляет однородную структуру. Склеивать макеты я стал клеем «Момент», так как он не меняет свойств ПВХ-пленки (не пропитывает её, тем самым не придаёт новых свойств). Также прочность шва, склеенного этим клеем, практически не зависит от температуры высыхания.

Итак, в течение месяца я изготавливал макеты, после чего провёл ряд экспериментов на сравнение силы тяжести и максимальной «полезной» силы, которую может выдержать макет. Максимальную «полезную» силу измерял с помощью динамометра, учитывая силу тяжести, действующую на сам динамометр. Получил ряд значений сил. Найденные в ходе серии опытов средние значения для наглядности приведены в таблице.

Вывод: из таблицы видно, что при одинаковой силе тяжести, действующей на макеты (при одинаковой массе макетов), максимальная «полезная» сила конструкции, выпол-

ненной по модульной технологии, заимствуя у пчёл принцип сот, выше, чем у макета, выполненного по монолитной технологии. То есть отношение «полезной» силы к силе тяжести выше у макета, использующего принцип сот, а это значит что модульный макет эффективнее монолитного. Результаты теоретического исследования верны, работают на практике.

Однако своё исследование я проводил согласно действию «вертикальных», перпендикулярно направленных к поверхности тела сил. Что касается действия «горизонтальных» сил, то здесь наоборот: монолитная конструкция будет эффективнее.

Вернёмся к созданию сверхлёгкой экологически-чистой мебели, применяемой в детских садах и школах. Для выполнения этой задачи достаточно лишь «удержания вертикальных» сил (так как модульную технологию планирую использовать для производства каркаса), поэтому здесь модульная технология будет полезной, практичной. Итак, технология для производства каркаса мебели уже есть. Сверху каркас можно покрыть тонким цельным слоем из того же вещества, что и каркас, для удобства работы с такой мебелью. Но из чего делать экологически-чистую мебель, её каркас? Я решил, что наиболее подходящим материалом является жесткая ПВХ-пленка и стружка, опилки. Стоит учесть, что свойства жесткой ПВХ-пленки прекрасно подходят под использование в детских учреждениях, ведь она является гибкой, тягучей, нерастворима в воде, устойчива к щелочным соединениям, а также стойка к агрессивным средам. Важно заметить, что материал может варьироваться. Это может быть как отдельно стружка или спрессованная жесткая ПВХ-пленка, так и объединение ПВХ-пленки со стружкой. Клей я выбрал казеиновый, так как он хорошо пропитывает структуру, придавая ей структурную целостность, прочность при высыхании. Также он водостойкий, экологически-чистый. Однако казеиновый клей, будучи продуктом натурального происхождения, изготовленный из остатков молокопро-

изводства, может быть испорчен, например, плесенью, которая образуется в процессе медленного испарения жидкости из клея. Для предотвращения появления плесени в состав казеинового клея добавляют нашатырный спирт. Недостатком также является, что готовый раствор казеинового клея хранится не дольше 2-4 часов. То есть производство мебели будет находиться в непосредственной близости от заводов молокопроизводства. Однако и это плюс: в результате производства мебели возникнут кластеры (привлекут молодых специалистов, решат вопрос безработицы), которые смогут поднять экономику региона. Опилки можно получать из отходов деревообрабатывающей промышленности. Заводом по производству жесткой ПВХ-пленки является близлежащий «Десногорский Полимерный завод», находящийся в 123 км от Брянска, а казеиновый клей изготавливается из остатков молокопроизводства, то все исходные материалы недорогие. Следовательно, себестоимость мебели окажется невысокой, что обеспечит скорое массовое распространение такой мебели по стране и решит проблему нехватки помещений для детских садов и групп продлённого дня в школах. То есть мебель получится экономически рентабельной. Решив проблему о нехватке помещений, можно улучшить здоровье будущего населения страны. В эстетических же целях мебель можно покрасить. Технологию производства я представляю как использование инновационного материала, из которого впоследствии и будут производиться, собираться различные варианты трансформирующейся сверхлёгкой экологически-чистой мебели. Варианты трансформации могут быть различны. Наиболее простой пример: отдельно стоящие столы трансформируются в круг.

Также модульную технологию можно использовать для строительства крыш, с которых не будет падать снег.

Дальнейшее развитие технологии я вижу в том, чтобы сделать грани из силикона или резины, а рёбра, с шарнирами в точке пересечения трёх плоскостей правильного шестиугольника, из углепластика или стали. Получим сеть шестиугольников, которые смогут адаптироваться под действующее на них тело. Применять такую технологию можно также в мебели, которая сможет снять нагрузку с позвоночника, позволит расслабиться, приняв форму тела, в рюкзаке, адаптирующимся к форме спины, равномерно распределяя нагрузку на спину, в электронике, технике. Однако у этой технологии есть существенный минус. Это вес. Если сравнивать его с жёсткой модульной системой, то он больше. Не существенно в малых масштабах, но в мебели уже будет проявляться. Мебель по весу, а значит

и по возможности трансформироваться, будет проигрывать жёсткой конструкции. В рюкзаке же, напротив, «гибкая» технология окажется эффективнее из-за существенно лучшего распределения веса. Ещё один минус – это себестоимость. Она окажется высокой.

Заключение

Практическая значимость работы:

В результате выполнения работы, я выявил, что конструкция сот действительно эффективна для создания сверхлёгкой экологически-чистой мебели, применяемой в детских садах и школах. Я также доказал, что данную гарнитуру можно делать из жесткой ПВХ-пленки, стружек и опилок. Все материалы являются экологически-чистыми, легкодоступными и что немаловажно, достаточно недорогими.

Теоретическая значимость работы:

В результате работы я выполнил цель, поставленную перед её началом. Выяснил, что использование принципов бионики, наблюдение за природой может помочь при решении инженерных задач, в разработке мебели. В ходе выполнения работы углубил свои знания в биологии, энтомологии, геометрии и физике. Разработал новую модульную технологию.

Общий вывод:

При написании данной работы я выполнил все задачи, которые ставил перед её написанием, узнал, что изучает бионика, изучил конструкцию сот, разработал и определил наиболее эффективные технологии создания инновационной мебели для детских садов и групп продлённого дня в школе, доказал эффективность полученных технологий на практике, определил дальнейшее развитие модульной технологии. Выявил и доказал её преимущество над ныне существующими монолитными конструкциями в мебели.

Приложение



Рис. 1. Сравнение веса макетов на точных электронных весах

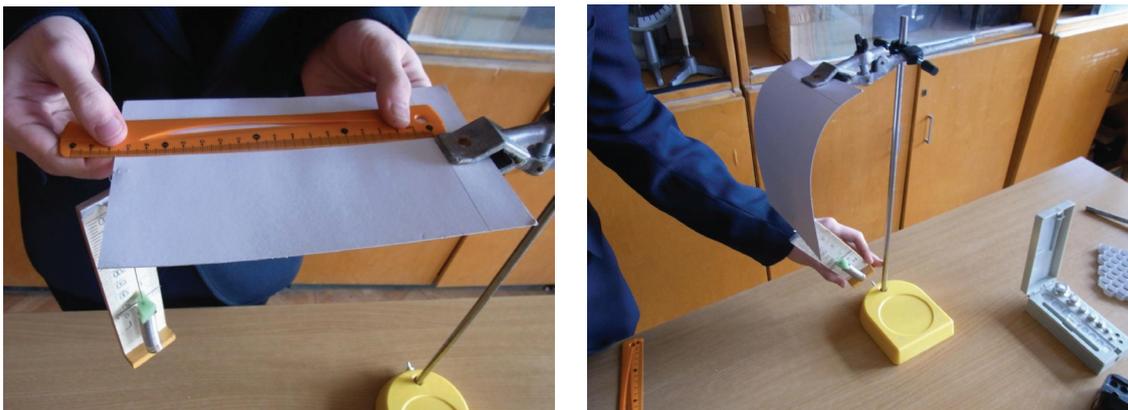


Рис. 2. Опыты с макетом, выполненным по монолитной технологии

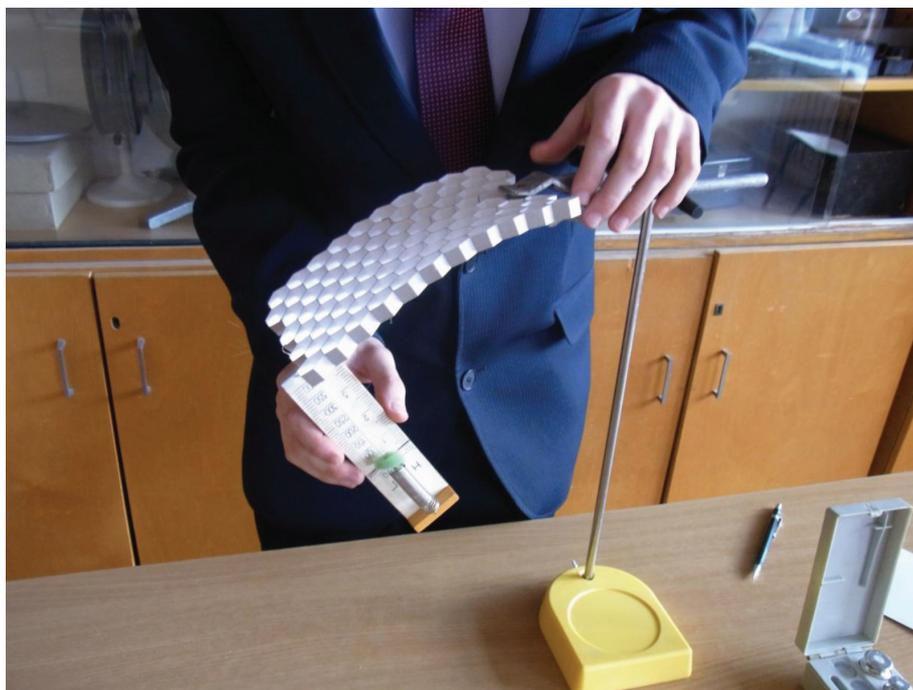
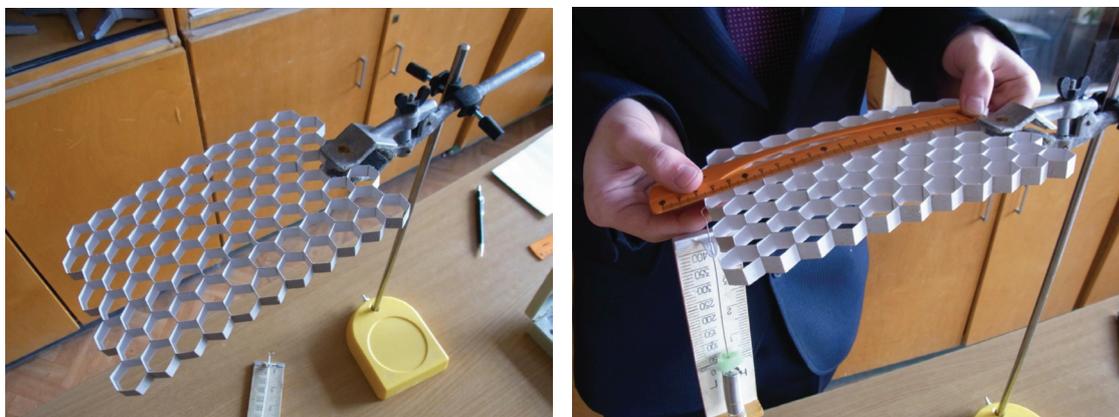


Рис. 3. Опыты с макетом, выполненным по модульной технологии



Рис. 7. Пример трансформирующейся мебели

Список литературы

1. Атанасян Л.С., Бутузов В.Ф., Кадомцев С.Б., Позняк Э.Г. Геометрия: учебник для 7-9 классов. – М.: Просвещение, 2009.
2. Гармаш И.И. Тайны бионики. – Киев, 1985.
3. Гийо А. Бионика. Когда наука имитирует природу. – пер. с фр., М.: Техносфера, 2013.
4. Мартека В. Бионика. – пер. с англ., М., 1967.
5. Симвков Ю.Г. Живые приборы. – М., 1986.
6. Феодосиевич Ц.Н., Иванович Г.И. Бионика в школе. – Киев, 1990.
7. Вопросы бионики. – Сб. ст., отв. ред. М. Г. Гаазе-Рапопорт, М., 1967.
8. Моделирование в биологии. – пер. с англ., под ред. Н.А. Бернштейна, М., 1963.
9. Дедю И.И. Экологический энциклопедический словарь. – Кишинёв: Главная редакция Молдавской советской энциклопедии, 1989.