

**Муниципальное бюджетное общеобразовательное учреждение
средняя общеобразовательная школа №52 г. Пензы**

II региональный фестиваль творческих открытий и инициатив «Леонардо»

Секция «Химическая»

НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ РАБОТА

Создание гидрофобных покрытий на основе «эффекта лотоса»

Выполнила:

Кандрашкина Виолетта, ученица 10 А класса
МБОУ СОШ № 52 г. Пензы

Научный руководитель:

учитель химии

МБОУ СОШ № 52 г. Пензы

Цымбал Людмила Петровна

Пенза, 2022 год

Содержание

Введение	3
Глава 1. Эффект лотоса.....	4
1.1. Смачивание	4
1.2. Эффект лотоса.....	6
1.3. Практическое применение эффекта лотоса	7
Выводы по главе 1.....	10
Глава 2. Создание гидрофобных покрытий	10
2.1. Создание несмачиваемой шероховатой поверхности.....	10
2.2. Создание непромокаемой ткани на основе эффекта лотоса.....	11
2.3. Проверка гидрофобности каждой поверхности.....	12
2.4. Определение устойчивости гидрофобных свойств ткани	12
Выводы по главе 2	14
Заключение.....	14
Список литературы	16

Введение

Люди всегда заимствовали новые технологические решения у природы, которая потратила на их развитие миллионы лет эволюции. Цветок лотоса знаком специалистам по бионике и нанобиотехнологиям благодаря способности его лепестков отталкивать грязь, пыль и воду. Эти свойства цветка и получили название «эффект лотоса». «Эффект лотоса» [8] был открыт в семидесятых годах 20 века немецким ботаником, профессором Вильгельмом Бартлоттом.

Сегодня учёные пытаются скопировать и воспроизвести гидрофобные свойства созданных природой поверхностей, усовершенствуя аналогичные физико-химические структуры с целью усиления желаемого эффекта. В результате проведения таких научно-исследовательских работ появились покрытия с особыми функциональными свойствами.

Эти покрытия толщиной всего лишь несколько нанометров состоят в основном из одного органического и одного неорганического компонента.

Неорганическую матрицу, как правило, образованную диоксидом кремния, диоксидом циркония или диоксидом титана, объединяют с органической матрицей (в основном это органические растворители). В зависимости от требований, предъявляемых к покрытию, в матрицу вводят наночастицы тех или иных веществ.

В настоящее время с помощью нанослоёв можно придать поверхностям самые разные свойства, и такие покрытия относятся к продуктам нанотехнологий первого поколения.

Благодаря нанотехнологиям появляются «умные вещи». Люди уже могут носить одежду и обувь, которые не пачкаются и не промокают, что существенно облегчает нам жизнь, это и определяет актуальность проводимого в работе исследования.

Основной **целью** настоящей работы является создание гидрофобных покрытий различными способами и проверка их водонепроницаемых свойств.

Цель исследования определила следующие **задачи**:

1. Изучить литературу по теме исследования.
2. Рассмотреть вопросы что такое смачивание, «эффект лотоса», причину несмачиваемости некоторых поверхностей
3. Смоделировать несмачиваемую шероховатую поверхность, имитирующую лист лотоса.
4. Экспериментальным путём создать гидрофобные покрытия, различными способами, проверить их водонепроницаемость.

Объект исследования: гидрофобные покрытия.

Предмет исследования: водонепроницаемость покрытий.

Для решения поставленных задач в процессе исследования использовались следующие **методы:** моделирование, экспериментальный, сравнительно-сопоставительный.

Гипотеза: рассмотрев сущность «эффекта лотоса», можно создать материал с особыми свойствами.

Глава 1. Эффект лотоса

1.1. Смачивание

Смачивание — физическое взаимодействие жидкости с поверхностью твёрдого тела или другой жидкости. Смачивание бывает двух видов: иммерсионное (вся поверхность твёрдого тела контактирует с жидкостью); контактное (состоит из трёх фаз — твердая, жидкая, газообразная)

Смачивание зависит от соотношения между силами сцепления молекул жидкости с молекулами смачиваемого тела (адгезия) и силами взаимного сцепления молекул жидкости (когезия) [2,4].

Если жидкость контактирует с твёрдым телом, то существуют две возможности:

- 1) молекулы жидкости притягиваются друг к другу сильнее, чем к молекулам твёрдого тела. В результате силы притяжения между молекулами жидкости собирают её в капельку. Так ведёт себя ртуть на стекле, вода на парафине или «жирной» поверхности. В этом случае говорят, что жидкость не смачивает поверхность;
- 2) молекулы жидкости притягиваются друг к другу слабее, чем к молекулам твёрдого тела. В результате жидкость стремится прижаться к поверхности, расплывается по ней. Так ведёт себя ртуть на цинковой пластине, вода на чистом стекле или дереве. В этом случае говорят, что жидкость смачивает поверхность.

Степень смачивания характеризуется углом смачивания. Угол смачивания Θ (или краевой угол смачивания) — это угол, образованный касательными плоскостями к межфазным поверхностям, ограничивающим смачивающую жидкость, а вершина угла лежит на линии раздела трёх фаз. Он

является характеристикой гидрофильности (гидрофобности) поверхности твердых тел (рис.1,2).

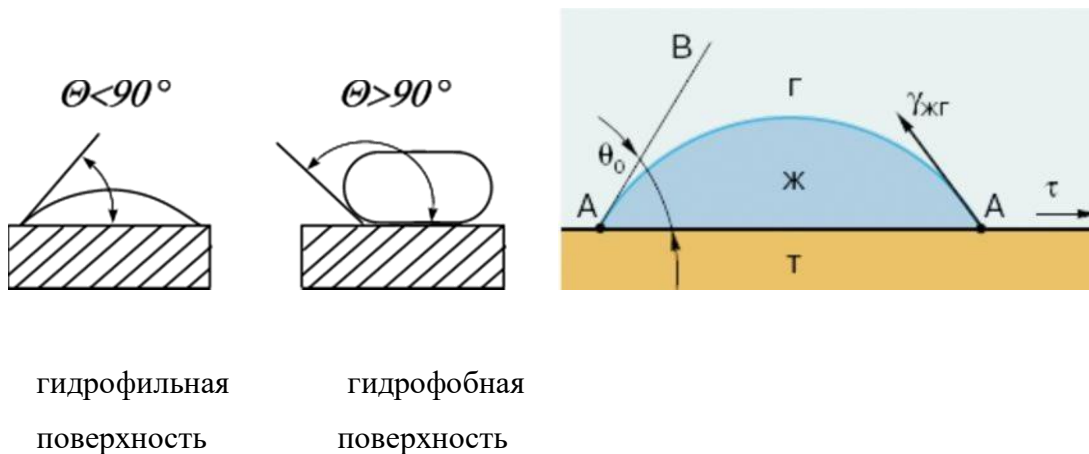


Рис.1. Краевой угол смачивания

Рис.2. Метод растекающейся капли:

краевой угол смачивания Θ капли жидкости (ж)
на твердой поверхности
(т); третья фаза - газ (г)

Граничный контур (периметр основания капли) называется линией трехфазного контакта (ЛТК). Этот термин подчеркивает, что в смачивании участвуют три фазы: 1) твердое тело, 2) смачивающая жидкость, 3) фаза-«предшественник», которая находилась в контакте с твердой поверхностью до подвода жидкости.

В соответствии с теорией Юнга-Лапласа, краевой угол определяется конкуренцией двух сил, действующих на ЛТК. Одна сила - это притяжение молекул жидкости к ближайшим молекулам жидкости на поверхности капли. В расчете на единицу длины ЛТК это сила поверхностного натяжения жидкости $\gamma_{жг}$ (в мН/м).

Другая сила создается притяжением тех же молекул ЛТК к ближайшим молекулам на поверхности твердое тело-газ. Эта сила направлена вдоль поверхности твердого тела во внешнюю сторону от ЛТК. Юнг назвал ее силой адгезии (в мН/м) (adhesion - прилипание). Равновесный краевой угол Θ находят из условия механического равновесия на ЛТК по основным размерам капель

жидкости, наносимых на твердые поверхности: высоте h и диаметру основания капли d .

Значения \cos рассчитывают по формуле (1):

$$\cos \theta = \frac{(d/2)^2 - h^2}{(d/2)^2 + h^2}$$

Таким образом, для определения краевого угла смачивания необходимо измерить высоту капли h и диаметр ее основания d .

1.2. Эффект лотоса

В природе растения подвержены воздействию загрязнений самых разных типов. В основном это неорганические вещества (пыль, сажа), но они могут иметь и органическое происхождение (например, споры грибков, медвяная роса, микроводоросли). Неорганические вещества непосредственно оказывают вредное воздействие на живую ткань растений, забивая устьица на листьях, посредством которых они дышат, что приводит, в частности, к перегреву растения под прямыми солнечными лучами и к повышению кислотности внутренней среды. Такие органические частицы, как, например, споры грибков, бактерии или микроводоросли, тоже вредны для растений, поскольку могут вызывать болезни и повреждать поверхность листьев.

Способность растений к самоочистке – это изящное решение природы по

устранению всех перечисленных выше проблем. Благодаря эффекту лотоса вредные вещества не могут прочно закрепиться на поверхности растения. Дождь смывает споры, а в периоды засухи неожиданным гостям просто не хватает воды, чтобы развиваться.

В целом поверхность листьев всех растений устроена примерно одинаково: внешний клеточный слой (эпидермис) покрыт тонкой пленкой (кутикулой), которая предотвращает потери воды растительной тканью и повышает механическую прочность эпидермиса. Эта тонкая кожица содержит набор различных липидов, которые также называют «восками». Такой воск придает кутикуле водонепроницаемость и в значительной степени препятствует проникновению через неё водяных паров. Кутин (биологический воск) часто покрывает кутикулу, или даже содержится в ней.

Листья растений разных видов сильно различаются по их способности к смачиванию. Некоторые из них вообще не смачиваются жидкостями. При этом уменьшается сцепление с поверхностью не только молекул воды, но также и молекул загрязнений. Капли воды, скатывающиеся по поверхности, легко смывают непрочно осевшие на ней инородные частицы и уносят их с собой, очищая лист.

Многим кажется очевидным, что чем поверхность более гладкая, тем легче ее очистить. Но если рассмотреть поверхность лотоса под сканирующим микроскопом, можно увидеть, что она довольно шероховатая из-за находящихся на ней кристаллов воска. Поскольку эти кристаллы очень мелкие, то невозможно ни видеть их невооруженным глазом, ни почувствовать на ощупь.

В принципе, степень смачиваемости поверхности зависит от её микро- или наноструктуры. Физический смысл эффекта смачиваемости заключается в определенном соотношении сил поверхностного натяжения на границах раздела фаз: вода – воздух, вода – твердое тело и твердое тело – воздух. В конечном итоге степень смачиваемости можно определить по величине угла, образованного поверхностью твердого тела и касательной к поверхности капли в точке её контакта с этой поверхностью. Этот угол называется краевым и зависит от соотношения межфазных сил поверхностного натяжения.

Согласно физическому определению, поверхность будет гидрофильной (полностью смачиваемой), если краевой угол меньше 90 градусов. Если этот угол больше 90 градусов, то поверхность будет гидрофобной (абсолютно не смачиваемой), полностью отталкивающей воду и, следовательно, водонепроницаемой.

При полной смачиваемости краевой угол стремится к нулю, потому что вода растекается по поверхности твердого тела и образует на ней мономолекулярную пленку. При этом одна капля воды будет максимально растекаться по поверхности всего листа.

Если краевой угол составляет 180 градусов (чего никогда не бывает в природных

условиях), капля воды теоретически должна будет собраться в шарик и касаться поверхности твёрдого тела только в одной точке. Краевой угол для обычных водоотталкивающих веществ (например, фторопласта) не превышает 120 градусов.

Для некоторых искусственно созданных веществ краевой угол может достигать 170 градусов. Данные поверхности называют сверхгидрофобными. Капля воды не способна растекаться по такой водоотталкивающей поверхности с микрошероховатостями. Силы собственного поверхностного натяжения стягивают каплю в шарик. Сила сцепления (адгезия), удерживающая каплю на поверхности листа, становится минимальной, и поэтому капля скатывается с него при малейшем наклоне.

Кроме лотоса, листья с гидрофобной имеют у самых разных растений, например, у водяной лилии, кочанной капусты, настурции и многих других.

Этот эффект можно наблюдать и у некоторых представителей животного мира. Так, обыкновенный навозный жук имеет очень короткие лапки и не в состоянии сам очиститься от прилипшего к наружной части его панциря и крылышкам навоза, в котором обитают тысячи вредных микроорганизмов.

Но на помощь жуку пришла сама природа. За тысячи лет эволюции она добилась того, что все навозники в мире всегда остаются чистыми. Тут не обошлось без использования нанотехнологий: если рассмотреть поверхность панциря жука под электронным микроскопом, то можно обнаружить на ней интересные наноструктуры, очень похожие на наноструктуры лотоса. Выделяя воскообразные вещества, жук придает своей поверхности способность к самоочищению, и в результате никакая грязь с вредными микроорганизмами к нему не прилипает. Таким же образом поступают и другие представители мира насекомых – стрекозы и бабочки, которые обрабатывают воском свои крылышки.

Несмачиваемые природные поверхности можно наблюдать у растений и насекомых. Это, например, листья настурции, аквилегии, крылья бабочек, волоски на теле водных жуков, ткани шёлковых гнёзд некоторых пауков. Оказалось, все дело в кутине – воскообразном веществе, состоящем из высших жирных кислот и эфиров. Это вещество располагается на поверхности листьев и цветков в виде своеобразных «шипов», которые и являют собой специфическую наноструктуру.

Под эффектом лотоса [9] (иначе *superhydrophobicity*; лотос-эффект; супергидрофобность) в настоящее время в науке понимают эффект практически полной несмачиваемости поверхности твердого тела жидкостью, возникающий из-за особенностей рельефа данной поверхности на микро- и наноуровне, приводящих к снижению площади контакта жидкости с поверхностью данного тела.

1.3. Практическое применение эффекта лотоса

Эффект лотоса, открытый профессором Вильгельмом Бартлоттом, вызвал огромный интерес во всем мире. За свои исследования профессор Бартлотт был неоднократно удостоен престижных наград за успехи в области науки.

Бартлотт сначала не видел в своем открытии коммерческой выгоды. Однако в 1980-х гг. он понял, что если удастся искусственно создать шероховатые воскообразные поверхности, то такой «искусственный лотос» может найти множество практических применений. Позднее он запатентовал идею создания поверхностей с приподнятыми микроскопическими участками, которые будут делать ее самоочищающейся, и зарегистрировал торговую марку Lotus Effect («эффект лотоса»).

Придание поверхностям изделий свойств сверхгидрофобности с помощью «эффекта лотоса» было нелегким делом. Гидрофобность — это свойство отталкивания. Но вещество, которое отталкивает все, нужно заставить сцепляться с изделием. Тем не менее к началу 1990-х гг. Бартлотт сумел создать ложку для меда с самодельным микрошероховатым силиконовым покрытием, которое позволяло жидкости стекать с данного прибора, не оставляя следов. Эта ложка в итоге убедила некоторые крупные химические компании в перспективности идеи Бартлотта, и вскоре они нашли больше возможностей использовать его открытие. Lotus Effect стал в Германии бытовой маркой. В октябре 2007 г. журнал *Wirtschaftswoche* назвал его в числе 50 наиболее значительных немецких изобретений последних лет.

Есть множество примеров, демонстрирующих широкое применение технологий на основе «эффекта лотоса», но большинство из них относятся к созданию специальных покрытий для автомобилей – для корпуса, окон, пропитки тентов и пр. Нанотехнологии на основе этого явления помогли увеличить срок эксплуатации автомобильных покрытий, защитить внешний вид автомобиля от постоянных угроз внешней среды [10].

Еще одно изобретение, покрытие на основе наночастиц диоксида кремния, способно снизить появление царапин на 53%, а возникновение загрязнений – на 60% за счет описанного выше «эффекта лотоса». Такое нанопокрытие применяют для кузовов автомобиля, нанесения на колесные диски, поверхности судов и самолетов.

Важным шагом стало также изобретение гидрофобных покрытий для стекол в автомобилях, которые постоянно подвергаются действию воды и грязи, а потому становятся мутными и ухудшают обзор. Такие покрытия основаны на уменьшении площади соприкосновения капель воды с поверхностью стекла, что позволяет воде стекать, не оставляя подтеков и загрязнений. Использование таких веществ для стекол имеет массу

преимуществ. Любые загрязнения: снег, дождь, пыль, смолы, капли масла, насекомые – легко удаляются даже потоком воздуха при движении автомобиля или, в более экстремальных условиях, «дворниками».

Эффект лотоса нашел свое применение не только в автомобильной промышленности. Сегодня уже создано множество материалов, способных к самоочищению, обладающих гидрофобными свойствами, например, водоотталкивающие краски для фасадов, покрытия для поездов, незапотевающие стекла, непромокающая одежда и т.д. Одно из недавних достижений в текстильной промышленности – создание непромокаемой хлопчатобумажной ткани, не теряющей своих свойств после 250 стирок. Ее получают, пропитывая ткань коммерчески доступным фторированным акрилатным мономером с последующим облучением гамма-лучами, вызывающим полимеризацию мономера прямо на волокнах ткани. Получается покрытие, в котором хлопок связан с полимером. Полимер предотвращает впитывание воды, вода собирается в капли, которые, скатываясь с ткани, собирают и уносят с собой пылинки и загрязнения. Развитие нанотехнологий и продолжение изучения их возможностей способно в перспективе принести человечеству еще множество удачных изобретений.

Глава II. Создание гидрофобных покрытий

2.1. Создание несмачиваемой шероховатой поверхности

Взяла лезвия для бритвы, нагрела в духовке до температуры около 100°C. Расплавила в фарфоровой чашке парафин. Каждое лезвие окунула в расплав, дадим излишкам парафина стечь на фильтровальную бумагу так, чтобы острие касалось ее поверхности. Собрала напарафиненные лезвия в стопку толщиной около 1 см, подровняем, зажмем в тисках лезвиями вверх. У нас получилась микрошероховатая поверхность.

2.2. Воспроизведение эффекта лотоса.

В результате эксперимента необходимо узнать, обладают ли самые обычные поверхности гидрофобными свойствами. Для этого взяла несколько образцов бумаги разных типов (глянцевая бумага для принтера, писчая бумага и бумажный фильтр) и листья растений.

Нанесла одинаковые по объёму капли воды на бумагу и листья. Также накапала несколько капель на другие поверхности – стекло, древесину и пластик.

Измерила линейкой диаметр капель. На самых гидрофобных поверхностях диаметр капель будет минимальным и, следовательно, их кривизна будет самой большой. Фильтровальная бумага полностью впитывает каплю воды, это означает, что её поверхность не гидрофобная, а наоборот – гидрофильная. Диаметр капли на глянцевой

бумаге маленький, а её кривизна большая.

Вывод:

1. Гидрофильные волокна на поверхности листьев обеспечивают её смачиваемость, которая тем лучше, чем более шероховата поверхность.

2. Гидрофильные частицы глины поглощаются каплей воды, поскольку их адгезия к поверхности листа меньше, чем к воде. Очищающий эффект будет действовать до тех пор, пока капля воды не насытится глиной. Это означает, что избыточные частицы глины останутся на поверхности листа.

3. Если поверхность листа повредить, она утрачивает водоотталкивающие свойства. Теперь капли воды будут прилипать к поверхности листа, хотя их химические свойства не изменились, и поверхность листа будет легко смачиваться. Это объясняется тем, что на поверхности листа были разрушены микро- или наноструктуры, обеспечивающие её водоотталкивающие свойства.

2.3. Гидрофобизация поверхности дерева или минерального вещества.

В этом эксперименте придадим поверхности дерева и плитке водоотталкивающие (гидрофобные) свойства, т.е. проведем их гидрофобизацию.

Подобрала деревянную и каменную пористую поверхность. Распылила на поверхность гидрофобизирующий состав из баллончика сплошным слоем. Подождала, пока состав полностью высохнет. Водоотталкивающий эффект проявится только на абсолютно сухой поверхности. Затем гидрофобизированную поверхность подвергла испытаниям на воздействие различных жидкостей: воды, кофе и т.д.

Увидела проявление водоотталкивающего эффекта с четко выраженным образованием капель. Под действием сил поверхностного натяжения вода стремится принять шарообразную форму, поскольку такая форма наиболее выгодна энергетически – при минимальной площади поверхности шар имеет максимальные объём.

2.4. Создание непромокаемой ткани на основе эффекта лотоса

Для создания непромокаемой ткани взяла хлопковую ткань, пропитала ее растворами специальных веществ [3,5,6,7], высушила образцы.

Способ 1. Для получения непромокаемой ткани вымачиваем в течение дня материал в холодном растворе ацетата кальция. Для его получения необходимо растворить кусочки мела в столовом уксусе до прекращения выделения пузырьков углекислого газа. Слить раствор с осадка, разбавить его водой вдвое. Ткань отжать, высушить при температуре 60°C. Затем положить в мыльный раствор, состоящий из 10 г мыла и 200 мл воды, снова отжать, высушить при температуре 40°C. Опять погрузить в раствор ацетата кальция, отжать, высушить.

Способ 2. В 1 л воды растворить при легком помешивании 30 г мыла, нагревая раствор

до 60-70°C. В теплый раствор погрузить обрабатываемый материал. Через 20-30 мин достать его, слегка прополоскать холодной водой, погрузить на 20-30 мин в теплый 8-10% раствор алюмокалиевых квасцов. Затем материал хорошо промыть в холодной воде, опять погрузить на 10-15 мин в теплый раствор мыла и на 10-15 мин в раствор квасцов.

Способ 3. Растворили 20 г клея ПВА, 20 г мыла в 200 мл кипящей воды. Добавить к раствору 30 г алюмокалиевых квасцов. Когда смесь остыла примерно до 30°C, погрузить в нее. Перемешать ткань в смеси в течение 10 мин для получения более качественного покрытия. Промыть ткань холодной водой, высушить на воздухе.

Способ 4. Обработать ткань универсальной водоотталкивающей пропиткой по инструкции, предложенной на баллончике.

2.5. Проверка гидрофобности каждой поверхности

На образец ткани, приготовленный по каждому из способов, нанесла капли. Определила высоту и диаметр капли, рассчитала по формуле (1). Результаты занесла в таблицу 1.

Таблица 1

Определение краевого угла смачивания

Образец ткани	Диаметр капли, мм	Высота капли, мм	$\cos \Theta$	Краевой угол смачивания $\Theta, ^\circ$
Способ 1	3	1,5	-0,18	101
Способ 2	4	5	-0,63	138
Способ 3	3	4	-0,67	139
Способ 4	4	3	-0,8	143
Модель гидрофобной поверхности из лезвий	3	3	-0,6	126

Вывод:

1. Из парафина и лезвий для бритвы создана модель шероховатой поверхности, имитирующей лист лотоса;
2. Создана гидрофобная поверхность хлопковой ткани, пропитав ее специальными растворами веществ;
3. Определен краевой угол смачивания для каждой поверхности, он оказался больше 90°, это говорит о том, что в каждом случае была создана гидрофобная поверхность;
4. Наиболее гидрофобная поверхность получается при обработке ткани универсальной водоотталкивающей пропиткой, а также при обработке алюминиевым мылом и

пропиткой из ПВА и алюмокалиевых квасцов.

Заключение

Открытый профессором Вильгельмом Барлоттом «эффект лотоса» вызвал и продолжает вызывать огромный интерес во всем мире.

Для защиты поверхностей от загрязнения используют покрытия с гидрофобными свойствами. Проведенные наблюдения и опыты показали, что тела, обладающие «эффектом лотоса» встречаются нечасто. Но поверхности после обработки специальными жидкостями становятся гидрофобными, т.е. могут обладать «эффектом лотоса».

В ходе эксперимента гипотеза о создании материала с особыми свойствами, была доказана.

Список литературы

1. Абрамзон, А.А. Возьмем за образец лист лотоса / А.А. Абрамзон. –Химия и жизнь.- 1982. - № 11. – С.38-40.
2. Жданов, Э.Р. Учебные демонстрации с элементами «нано»/ Э.Р.Жданов, А.Н.Лачинов, А.Ф.Галиев. – СПб: Школьная лига, 2013. – 80 с.
3. Озерянский, В.А. Познаем наномир: простые эксперименты: учебное пособие/ В.А.Озерянский, М.Е.Клецкий, О.Н.Буров. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013.- 142 с.
4. Сумм, Б.Д. Основы коллоидной химии: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений [Текст]/ Б.Д.Сумм. – М.: Издательский центр «Академия»,2007.- 240 с.
5. Непромокаемые ткани [Электронный ресурс] / - URL:<http://www.anytech.narod.ru/>
6. Отделка тканей. Гидрофобизация [Электронный ресурс] / - URL: <http://www.weaving-mill.ru/>
7. Химия и производство: водонепроницаемые ткани и другие материалы [Электронный ресурс] / - URL: <http://www.lformula.ru/>
8. Эффект лотоса [Электронный ресурс] / - URL: [http:// ru.wikipedia.org](http://ru.wikipedia.org)
9. Эффект лотоса [Электронный ресурс] / -URL:<http://thesaurus.rusnano.com/wiki>
10. Эффект лотоса в современных нанотехнологиях для авто [Электронный ресурс] / - URL: [http:// www.nanostore.com.ua](http://www.nanostore.com.ua)