

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭФФЕКТА ЛОТОСА В ТЕХНИКЕ**Петров Т. В.***г. Калуга, МБОУ «Лицей № 48», 10 «А» класс**Научный руководитель: Казначеева И. В., г. Калуга,
канд. техн. наук, учитель физики, МБОУ «Лицей № 48»*

Данная статья является реферативным изложением основной работы. Полный текст научной работы, приложения, иллюстрации и иные дополнительные материалы доступны на сайте III Международного конкурса научно-исследовательских и творческих работ учащихся «Старт в науке» по ссылке: <https://www.school-science.ru/0317/11/29245>

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».

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 грибов, 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 грибов, 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 нежданно гостям просто не хватает воды, чтобы развиться.

Цель проекта:

Выяснить природу эффекта лотоса опытным путем, объяснить возможности его применения, провести эксперименты по приданию различным поверхностям гидрофобных, антикоррозионных и противопожарных свойств. В работе было проведено большое количество экспериментальных исследований с помощью оборудования NanoSchoolBox Nanobionet e.V. Из-за требований научно-исследовательской работы

по объему текста, все фотоиллюстрации приведены в приложении.

Задачи исследования:

1. Изучить историю и литературу, связанную с эффектом лотоса.
2. Изучить эффект лотоса опытным путем
3. Воспроизвести эффект лотоса для различных материалов
4. Экспериментально произвести гидрофобизацию различных материалов с целью придания им водоотталкивающих, противопожарных или антикоррозионных свойств.

История

В середине 70-х годов прошлого века немецкими учеными-ботаниками Боннского университета Вильгельмом Бартхлоттом и Кристофом Найнуйсом было открыто явление самоочистки листьев и цветков некоторых растений. Они объяснили этот факт особым наноструктурированным состоянием их поверхности. Впоследствии это явление ими было запатентовано и названо в честь наиболее яркого представителя таких растений – «эффект лотоса».

Цветок лотоса считается в буддизме символом незапятнанной чистоты, так как известно, что листья и нежно-розовые или синеватые цветки лотоса остаются даже в грязной тине водоемов безупречно чистыми.

Явление самоочистки детально исследовалось учеными и позволило открыть удивительные возможности природы защищаться не только от грязи, но также и от различных микроорганизмов. Данный эффект наблюдается не только у лотоса, но и у других растений (листья кактуса, капусты, камыша, водосбора, тюльпана), а также у насекомых (например, крылья стрекоз и бабочек). Они наделены природой свойством защиты от различных загрязнений, в большей степени неорганического (пыль, сажа), а также биологического происхождения (споры грибов, микробов, водоросли и т. д.).

С помощью электронных микроскопов исследователями было обнаружено, что листья и цветки некоторых растений выделяют воскоподобное вещество Кутин, представляющее собой смесь высших жирных кислот и их эфиров, которые образуют на поверхности особую структуру (нанорельеф) в виде «шипов».

Эффект лотоса

Взаимодействия между твердыми телами и окружающей средой происходят почти исключительно в поверхностных слоях, что справедливо также и для многих биологических систем. Биологические поверхности, созданные за миллионы лет в результате эволюции, являются максимально оптимизированными мультифункциональными системами. Они обеспечивают механическую стабильность, терморегулирование, контроль водно-солевого обмена и т. д. Постоянное загрязнение листьев растений нарушает в них многие биологические процессы, поэтому растения выработали специфический механизм защиты в виде «эффекта лотоса».

Лотос-эффект не является каким-то случайным феноменом, он возник в результате эволюции и вызван необходимостью выживания растений. Он предотвращает появление патогенных субстанций на таких поверхностях: споры легко смываются при каждом дожде. На «оптимизированных» поверхностях (например, листке или цветке лотоса) проявляются супергидрофобные качества, такие, что, например, мед и даже клей на водной основе не прилипают, а полностью стекают с такой поверхности.

Степень увлажнения твердого тела описывается с помощью контактного угла α , входящего в формулу с поверхностной энергией σ на различных межфазных границах в соответствии с законом Кассье: $\cos \alpha = (\sigma_{\text{т-г}} - \sigma_{\text{т-ж}}) / \sigma_{\text{ж-г}}$, где $\sigma_{\text{т-г}}$ – «твердое тело–газ»; $\sigma_{\text{т-ж}}$ – «твердое тело–жидкость»; $\sigma_{\text{ж-г}}$ – «жидкость–газ».

Нулевой контактный угол обеспечивает полное увлажнение (супергидрофильная поверхность), при котором капля воды стремится «растянуться» до состояния мономолекулярной пленки на поверхности твердого тела. Контактный угол 180° указывает на совершенную несмачиваемость (супергидрофобную поверхность), так как капля касается поверхности только в одной точке.

Попавшая на поверхность листа капля воды удаляет с него частицу загрязнений. При этом частицы загрязнений не проникают во внутреннюю часть капли, а равномерно распределяются по ее поверхности, т. е.

даже гидрофобная субстанция удаляется каплей воды с гидрофобной поверхности. При рассмотрении условий, при которых реализуется «эффект лотоса» на наноуровне, механизм этого явления становится более понятным. С помощью закона Кассье можно объяснить, почему значение контактного угла для поверхности, а, следовательно, условие несмачиваемости (самоочистки) можно легко изменить, придав поверхности необходимый рельеф.

Применение

Аналогичное явление происходит с различными видами загрязнений и на восковых ворсинках, покрывающих листья лотоса. Поверхность соприкосновения загрязнений с поверхностью листа также крайне незначительна и силы сцепления между каплей воды и частицей грязи оказываются значительно более высокими, чем между этой же частицей и восковым слоем листа. У загрязнения, поэтому имеются две возможности: либо продолжать неустойчиво балансировать на шипах, либо «слиться» с гладкой ровной поверхностью движущейся водной капли и легко удалиться даже небольшим количеством воды, оставляя за собой чистую сухую поверхность.

Защитные водоотталкивающие свойства оперения водоплавающих птиц, наверное, обусловлены их особой ребристой структурой, а не наличием на перьях защитных жироподобных веществ. Хотя, эти свойства только дополняют друг друга.

Известные своими возможностями легкого перемещения (скольжения) по поверхности воды, водяные клопы-водомерки также используют это природное явление, так как их тело и кончики ног покрыты не смачиваемыми в воде волосками, обеспечивающими, на первый взгляд, их столь удивительные способности.

Таким образом, лотос-эффект основан исключительно на известных физико-химических явлениях и не привязан только к живым системам; в силу этого самоочищающиеся поверхности технически можно воспроизвести для различных материалов и покрытий.

В последнее время проводятся интенсивные исследования по разработке и производству самоочищающихся или устойчивых к загрязнению изделий и покрытий в самых различных отраслях экономики. При этом формирование заданной наноструктуры поверхности может быть выполнено с помощью нескольких основных методик:

- создание («черчение») рельефа лазерным лучом или плазменным травлением;

- анодное окисление (алюминия) с последующим покрытием специальными веществами;

- придание формы и создание микро-рельефа гравировкой;

- покрытие поверхности слоем металлических кластеров, комплексами «поверхностно-активное вещество–полимер» или сополимеров, самоорганизующихся в наноструктуры;

- нанесение суспензий наночастиц с морфологией, препятствующей образованию агломератов.

Эти виды поверхностной обработки могут быть отнесены к объектам или структурам, созданным методами нанотехнологий.

Одна из основных проблем, которую еще предстоит решить, заключается в том, чтобы после формирования поверхности или нанесенные на них частицы, обладающие определенным распределением по размеру и структурой, оказались стабильными по отношению к старению и различным факторам воздействия окружающей среды. Например, ультрафиолетовое излучение может инициировать окисление покрытия, что приводит к гидрофилизации поверхности за счет образования кислородсодержащих групп.

Ученым удалось показать, что нанесение суспензий гидрофильных частиц оксида кремния размером несколько нанометров на твердые керамические поверхности может привести к самоорганизации наночастиц. Полученные в результате модифицирования поверхности обладают пониженным для гидрофильных жидкостей краевым углом смачивания, что улучшает сток жидкостей и увеличивает скорость высыхания после очистки.

Основываясь на этих и других принципах, в 1999 г. немецкая компания «Nanogate Technologies GmbH» из Саарбрюкена победила в конкурсе на разработку самоочищающегося покрытия для керамики «WunderGlass», объявленном концерном «Duravit AG». На выставке CEVISAMA-2000 в Испании был показан еще один продукт–покрытие для плитки «Sekcid», разработанное фирмой в результате стратегического партнерства с испанским концерном «Torgesid S.A.»—одним из мировых лидеров в сфере производства фритты (керамических сплавов) и глазурей для керамической промышленности.

Наиболее широкое распространение технологии на основе «эффекта лотоса» получили в автомобильной промышленности при нанесении лакокрасочных покрытий; специальной обработки остекления автомобиля; защитной водоотталкивающей

и антибактериальной пропитке внутренней обивки и тентов; модифицировании резинотехнических изделий и т.п.

Внешний вид, качество и долговечность покрытия автомобиля, несомненно, является отражением технического состояния всего транспортного средства. Благодаря широкому диапазону свойств и эффектов достигаемых при помощи нанотехнологий, в том числе «эффекта лотоса», в настоящее время имеется возможность для обновления и защиты внешнего вида автомобилей при относительно низких затратах, что снижает расходы при эксплуатации и повышает рыночную стоимость при перепродаже.

Немецкая фирма «Дуалес Систем Дойчланд АГ» одной из первых представила на проходившей в Ганновере всемирной выставке «ЭКСПО-2000» новую краску для автомобилей, обладающую самоочищающимся эффектом, для их мойки (даже после сильного загрязнения) их просто достаточно полить водой.

Более того, в настоящее время имеются разработки на основе нанотехнологий, позволяющие вообще обходиться без воды. На загрязненные поверхности автомобиля из баллона распыляется специальный состав, которой затем растирается салфеткой или полотенцем. В результате не только удаляются загрязнения, но и осуществляется нанесение защитного самоочищающегося покрытия, остающегося на поверхности более полугода.

Начиная с 2003 года легковые автомобили Mercedes-Benz серий E, S, CL, SL и SLK покрыты прозрачным лаком с наноразмерными (около 20 нм) керамическими частицами, созданными на основе нанотехнологии, которые в процессе высыхания в лакокрасочном цехе отвердевают, образуя на поверхности лакового покрытия чрезвычайно плотную сетчатую структуру. Благодаря этому также повышается прочность (износостойкость) лака и обеспечивается более интенсивный и долговечный блеск покрытия. Автомобили Mercedes-Benz с лакокрасочным покрытием на основе нанотехнологии отмечены наградой на специализированной выставке «Automechanika», как «самые легкомоющиеся автомобили 2004 года».

В настоящее время в области разработки и применения нанотехнологической продукции для автомобильной промышленности основная конкуренция развернулась между компаниями PPG, Dupont и Nanover, а также BASF. Так, еще в 2002 году американская компания PPG Industries Inc. представила на автомобильном рынке первое керамическое самоочищающееся покрытие

тие—CeramiClear® Clearcoat. Для самоочищающейся поверхности фирма использует диоксид титана (TiO₂). Его свойства таковы, что покрытие из данного вещества не только окисляет и расщепляет грязь, но вдобавок нейтрализует различные запахи и убивает микроорганизмы. На практике это приводит к тому, что износоустойчивость лакового покрытия возрастает—оказалось, что покрытые лаком нового типа машины сохраняют блеск на 40% дольше, чем окрашенные обычной краской. Такому заключению предшествовали четыре года экспериментов и 150 окрашенных новой краской «тестовых» автомобилей.

В настоящее время компания PPG работает над самовосстанавливающимся лакокрасочным нанопокрывтием, позволяющим осуществлять «саморемонт» царапин и мелких потеростей, возникающих при повседневной эксплуатации автомобиля.

Например, защитная полироль «Pikarain», разработанная в 2008 году японскими учеными и представляемая на рынке компанией «Coralco., Ltd», защищает автомобиль, типа Volkswagen Polo, от царапин во время мойки, восстанавливает и сохраняет яркость и насыщенность цвета кузова. На поверхности кузова полироль образует защитную стеклоподобную пленку, которая надежно выдерживает действие различных кислот, грязи и обладает водоотталкивающими свойствами («эффектом лотоса»).

Гидрофобное покрытие для остекления автомобиля в виде пленок уже используется в автопроме при производстве серийных машин—оно наносилось на боковые стекла Nissan Terrano II. Подобное покрытие, хотя не создавало полноценного водоотталкивающего эффекта, но заметно уменьшало пятно контакта поверхности с каплями воды, благодаря чему во время дождя стекло оставалось достаточно прозрачным.

В автомобилестроении используется механизм «самоочищения» стекла автомобиля, обработанного специальными нанопленками или нанополиролями. Поверхность стекла модифицирована таким образом, что капля воды катится по ней, собирая загрязнения, тогда как на гладкой поверхности, наоборот, капля воды, сползая, оставляет грязь на месте.

При применении таких покрытий дождь, снег и грязь не удерживаются на поверхности стекла, а уносятся встречным потоком воздуха, а попавшие на стекло битум, растительные смолы, масляная пленка, прилипшие насекомые и т.д. легко удаляются дворниками—даже в самых тяжелых случаях. Вода, снег и грязь, которые летят из-под колес встречного транспорта, попадая на бо-

ковые стекла, меньше сокращают боковой обзор. Ночная видимость становится существенно лучше, а встречный транспорт ослепляет гораздо меньше. В результате водоотталкивающего эффекта и более прозрачного стекла повышается активная безопасность на дороге. Одновременно снижаются расходы на новые стеклоочистители, т.к. в среднем они используются на 50% реже.

В заключение следует отметить, что в настоящее время на основе «эффекта лотоса» разработан ряд специальных материалов и изделий, обладающих самоочищающимися и другими уникальными свойствами, например, гидрофобные фасадные краски, антивандальные покрытия поездов, незапотевающие зеркала и керамика, малозагрязняющийся бактерицидный текстиль, непромокающие дождевые плащи и зонтики, водоотталкивающие спортивные купальные костюмы, а также многое другое. Все это свидетельствует о хороших перспективах применения нанотехнологий во многих сферах деятельности человека.

Опыт с различными видами листьев комнатных растений.

Объектом исследования были свежие листья растений школьного кабинета физики: молочай, шефлера, герань, традисканция и колеус (с наиболее ворсистыми листьями). Мы наносили из пипетки капельку водопроводной воды на поверхность листа и фотографировали лист с помощью фотоаппарата и с помощью документ-камеры. Для сравнения эффекта лотоса на разных типах листьев, мы расположили их на миллиметровой бумаге. Сравнивая фотографии, мы видим, что наиболее сильно эффект заметен на «пушистых» листьях; т.е. чем больше высота и меньше диаметр ворсинки, тем больше «эффект лотоса».

В результате мы выяснили, что предположительно именно за счет такого строения достигается «эффект лотоса» и капля воды скатывается с поверхности листка. В результате на основе знаний, полученных в ходе исследования, в будущем мы хотели бы создать что-то новое или усовершенствовать уже существующие проекты и изобретения на такую же тему.

Затем я провел аналогичные опыты с различными типами поверхностей: бетон, деревянная поверхность, бумага различных типов, ткани разных типов. Далее я сам попытался воспроизвести эффект лотоса в лабораторных условиях. Я поочередно наносил аэрозоль со специальным покрытием для дерева и камня с поверхностно-активным веществом на разные виды поверхностей, затем с помощью пипетки наносил каплю воды на них и наблюдал за эффектом.

После этого все перечисленные поверхности были обработаны гидрофобным покрытием и еще раз исследованы на форму капли. Для этого я нанес специальный гидрофобный спрей на кусочки ткани и решил проследить, как изменялась способность смачивания тканевой поверхности, в зависимости от того, был ли на нее нанесен гидрофобный слой или нет.

Список литературы

1. Балабанов, В. И. Нанотехнологии. Наука будущего. М., Эксмо, 2009. – 248 с. (ISBN978-5-699-30976-4).
2. Aryeh Ben-Na'im Hydrophobic Interaction Plenum Press, N.Y.
3. Cassie A.B.D., S. Baxter, Trans. Faraday Soc., 1944, 40, 546.
4. UV-Driven Reversible Switching of a Roselike Vanadium Oxide Film between Superhydrophobicity and Superhydrophilicity Ho Sun Lim, Donghoon Kwak, Dong Yun Lee, Seung Goo Lee, and Kilwon Cho J. Am. Chem. Soc.; 2007; 129(14) pp 4128–4129; (Communication) DOI:10.1021/ja0692579.