

# ИСКУССТВЕННЫЙ ФОТОСИНТЕЗ – ЕЩЕ ОДИН ПУТЬ К ВОДОРОДНОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
Минск, Республика Беларусь*

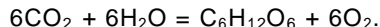
*Бегун А. В.*

*Забелина И. А. – канд. техн. наук, доцент*

Развитие водородной энергетики сдерживается в современных условиях высокой энергоемкостью производства водорода. Перспективным методом получения водорода может стать искусственный фотосинтез.

Фотосинтез (ФС) позволяет биологическим системам поглощать солнечное излучение и использовать его для получения энергии. В растениях КПД при ФС составляет около 1 %, что является мощным стимулом для научных исследований, проводимых с целью его повышения.

Искусственный фотосинтез (ИФС) – воспроизведение естественного процесса ФС. При этом под воздействием солнечного света  $\text{H}_2\text{O}$  и  $\text{CO}_2$  преобразуются в кислород  $\text{O}_2$  и глюкозу  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$  [1]:



В процессе ФС выделяют три этапа: фотофизический, фотохимический и химический. На первом этапе происходит поглощение квантов света пигментами, их переход в возбужденное состояние и передача энергии другим молекулам фотосистемы. Второй этап заключается в разделении зарядов в реакционном центре, перенос электронов по фотосинтетической электронотранспортной цепи, что заканчивается синтезом АТФ (аденозинтрифосфорная кислота) и НАДФН (никотинамидадениндинуклеотидфосфат). Первые два этапа – светозависимая стадия ФС. Третий этап – светонезависимая стадия – происходит без обязательного участия света и включает в себя реакции синтеза органических веществ с использованием энергии, накопленной на светозависимой стадии. Водород, полученный на светозависимой стадии может быть использован в водородных двигателях. Светонезависимая стадия ФС может быть использована для поглощения избыточного количества  $\text{CO}_2$  из атмосферы [2].

Искусственная фотосистема для превращения световой энергии в химическую должна, как и природная, содержать три основных компонента: фотоантенну, реакционный центр и систему хранения энергии (пример приведен на рисунке). При проектировании каждого из этих компонентов решают два вопроса:

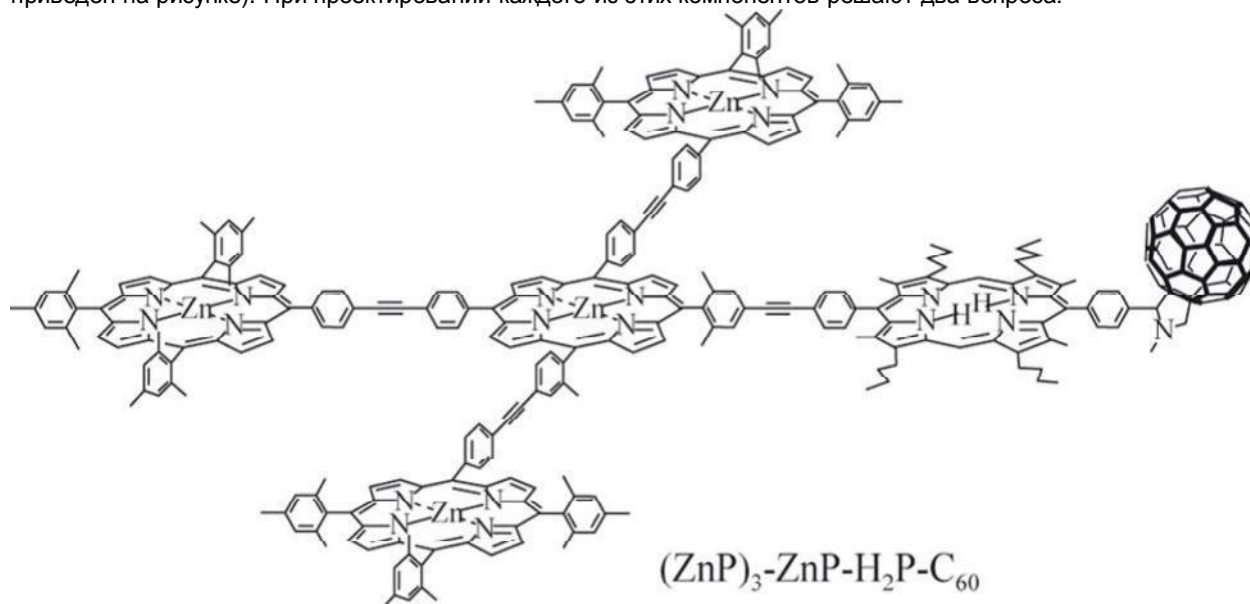


Рисунок – Супрамолекулярная гексада, моделирующая реакционный центр, соединенный с фотоантенной.  
Авторы: D. Gust, T. A. Moore, A. L. Moore, Arizona State University, USA

- 1) из каких веществ – хромофоров, доноров, акцепторов – они должны состоять;
- 2) как собрать эти вещества в единую работающую систему.

Фотоантенна поглощает энергию света (фотон сталкивается с молекулой фотосистемы), а затем передает ее в реакционный центр, в котором происходят две химические реакции (молекула хлорофилла теряет два электрона, а молекула  $\text{H}_2\text{O}$  расщепляется). В качестве хромофоров выбирают металлопорфирины. Наиболее популярны порфирины с ионами цинка, магния, платиновых металлов и свободные порфирины, в которых центральный атом металла отсутствует. Порфирины соединяют в единую фотоантенну методами супрамолекулярной химии, то есть, посредством нековалентных взаимодействий, либо с помощью ковалентных связей. Варьируя пространственную структуру антенны и состав боковых цепей порфиринов, можно управлять потоком энергии по антенне [3].

Команда ученых во главе с профессором Кристофом Небелем (Christoph Nebel) считает перспективным последовать примеру живой природы, так как растениям для производства водорода вполне достаточно воды, солнечного света и биокатализаторов. Ключевую роль в устройстве, способном осуществить ИФС, играют молекулы светочувствительных белков, накапливающие под действием солнечного излучения электрический заряд. До недавнего времени существовали лишь системы, способные выделять и сохранять только один электрон одновременно. Заряд разлагает молекулу воды на  $\text{H}_2$  и  $\text{O}_2$ . Молекулы белков, размещенные на некоей поверхности в водной среде и подвергшиеся солнечному облучению, способны обеспечить выделение  $\text{H}_2$ . Главная составляющая этой схемы является одна из разновидностей цитохрома-С. Для трансформации света в электрический заряд, профессором Небелем было разработано устройство – пластина, снабженная алмазными штырьками с шагом в несколько нанометров. В образованных ячейках расположены молекулы белков. Вся конструкция погружена в физиологический раствор. Под воздействием света молекулы белков передают один из своих электронов штырькам, с которыми они химически связаны. Достоинства: деградации не происходит, поскольку углерод в жидкости не окисляется; удобство и относительная дешевизна; наличие образца около 15 см; КПД 20-30 % в теории, менее 1 % на практике (сравнимо с КПД деревьев). Недостаток – недолговечность (интенсивное облучение разрушает белки в ячейках).

Исследователи во главе с профессором Массачусетского технологического института (MIT) Даниэлем Ноцера (Daniel Nocera) создали устройство, которое было названо ими «искусственный лист»: как и листья живых растений, устройство способно преобразовывать энергию солнечных лучей в химическое топливо, которое может быть сохранено и использовано затем в качестве источника энергии. Устройство выполнено в основном из Si, Co и Ni, электроники и химических катализаторов. Помещенный в галлон воды (3,78 л) и выставленный на яркий свет, «искусственный лист» может удовлетворить дневную потребность в электричестве обычного дома, расположенного в какой-нибудь развивающейся стране. «Лист» разлагает воду на водород и кислород, которые собираются в топливных камерах и используются затем для получения электроэнергии. Преимущества:

дешевизна и длительное время работы. В качестве катализаторов химической реакции в нём используются соединения на основе кобальта и никеля. Уже сейчас эффективность работы устройства в 10 раз больше, чем у природного фотосинтезирующего листа [4].

Группа учёных под руководством Сяня Фу Чжана (Xian-Fu Zhang) из провинции Хэбэй (Hebei Normal University of Science and Technology) установила, что углеродные нанотрубки могут стать недостающим звеном в механизме фотосинтеза. Углеродная нанотрубка запасает один электрон на каждые 32 атома углерода. В качестве молекул, поглощающих свет и выделяющих электрон, были выбраны фталоцианины – пигменты, хорошо образующие комплексы с другими веществами. Это вещество применяется в качестве фоточувствительного слоя в наиболее совершенных вариациях CD-R. Каждая молекула пигмента способна выделить только один электрон, но длина нанотрубки в 1 микрометр позволила ковалентно присоединить 120 фталоцианинов. Запасающая часть оказалась слабее принимающей – только 25 % электронов поместились в углеродном скелете. На основе такого комплекса можно будет создать и фотоэлектрическую панель, и искусственную систему фотосинтеза, в которой электроны помогают преобразованию молекулы НАДФН или NADP (никотинамидадениндинуклеотидфосфат, кофермент, присутствующий во всех живых клетках, входит в состав ферментов группы дегидрогеназ, катализирующих окислительно-восстановительные реакции; выполняет функцию переносчика электронов и водорода, которые принимает от окисляемых веществ) в её восстановленную форму NADH, которая в фотосинтетических организмах принимает участие в превращении  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$  в углеводороды [2, 5].

Достоинства ИФС заключаются в следующем: используется нелимитируемый источник энергии – Солнце;  $\text{H}_2$  хранится без загрязнения атмосферы;  $\text{H}_2$  имеет высокую теплотворную способность (29 ккал/г) по сравнению с углеводородами (3,5 ккал/г); процесс идет при нормальной температуре без образования токсических промежуточных продуктов; обеспечивается цикличность процесса [5].

Коммерческое производство фотосинтетического водорода будет невозможно до тех пор, пока не будут решены следующие проблемы и задачи: улучшение КПД систем при сохранении простоты их организации, преодоление проблемы, связанной с образованием агрессивных продуктов при окислении воды, разрушающих катализатор [5, 6], короткая жизнь гидрогеназы (не может быть использована для продуцирования водорода дольше одной минуты) и неустойчивость ее по отношению к кислороду. А также необходимость системы, способной поглощать кванты видимого света и одновременно высвобождать несколько электронов, а кроме того, содержащая приемник, способный сохранять электроны.

Список использованных источников:

1. [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org).
2. [www.nlo-mir.ru](http://www.nlo-mir.ru).
3. [www.thesaurus.rusnano.com](http://www.thesaurus.rusnano.com).
4. [www.o8ode.ru](http://www.o8ode.ru).
5. [www.gazeta.ru](http://www.gazeta.ru).
6. [www.nanometr.ru](http://www.nanometr.ru).