

УДК 7.712.42

DOI <https://doi.org/10.24919/2308-4863/37-1-6>

**Анастасія ВИХОДЦЕВА,**

*orcid.org/0000-0002-6266-2777*

*студентка VI курсу кафедри дизайну та основ архітектури*

*Інституту архітектури і дизайну*

*Національного університету «Львівська політехніка»*

*(Львів, Україна) kbzebra11@gmail.com*

**Романа МОТИЛЬ,**

*orcid.org/0000-0001-6936-0328*

*кандидат мистецтвознавства,*

*доцент кафедри дизайну та основ архітектури*

*Інституту архітектури та дизайну*

*Національного університету «Львівська політехніка»,*

*старший науковий співробітник*

*Інституту народознавства Національної академії наук України*

*(Львів, Україна) romana\_motyl@ukr.net*

## ТЕХНОЛОГІЇ БІОЛОГІЧНОЇ ФОТОВОЛЬТАЇКИ В ДИЗАЙНІ МІСЬКОГО СЕРЕДОВИЩА

Біологічна фотовольтаїка (BPV) – це новітня технологія, яка використовує природний процес фотосинтезу для отримання електричної енергії. За допомогою цієї технології можна створювати композиції в будь-якому середовищі, що матиме низку переваг, наприклад: естетика, корисність, вартість тощо. Метою статті є дослідження можливості використання відновлюваних природних ресурсів, таких як органічна вольтаїка в дизайні міського середовища. Вивчається вплив використання людством природних ресурсів Землі, застосування та утилізація відходів після виробництва електроенергії, можливість рециркуляції утилізованих продуктів виробітку електрики. Здійснено порівняння використання різних методів видобутку енергії з вичерпних та невичерпних ресурсів планети, таких як видобуток корисних копалин, видобуток нафти та лісове господарство. Досліджено вплив утилізації відходів із систем для отримання енергії шляхом взаємодії з невичерпними джерелами енергії: сонячного світла, води, вітру тощо. Пропонується вирішити проблему шляхом дослідження відновлюваних ресурсів планети, дослідження та застосування конструкції «коліска до коліска». На основі цього була досліджена біологічна фотовольтаїка, основним компонентом якої для виробітку електрики є мох, можливість використання такої системи в міському середовищі на основі досліджень вчених Інституту провідної архітектури в Каталонії, позитивний вплив цієї системи та обґрунтування властивостей, можливості утилізації такої системи без наслідків для нашої планети.

Наукова новизна полягає в аналізі видобутку природних ресурсів Землі, їх цільового призначення і видів, у дослідженні новітніх технологій із видобутку електроенергії за допомогою біологічних вольтаїчних елементів.

За результатами досліджень стане можливим створення предметів дизайну будь-якого середовища, що слугуватимуть точками самовідновлюючої електроенергії.

**Ключові слова:** електроенергія, предметний дизайн, ландшафтний дизайн, фотовольтаїка, невичерпні ресурси.

**Anastasiia VYKHODTSEVA,**

*orcid.org/0000-0002-6266-2777*

*VI year Student at the Department of Design and Fundamentals of Architecture*

*Institute of Architecture and Design*

*of the Lviv Polytechnic National University*

*(Lviv, Ukraine) kbzebra11@gmail.com*

**Romana MOTYL,**

*orcid.org/0000-0001-6936-0328*

*Candidate of Art History,*

*Associate Professor at the Department of Design and Architecture Fundamentals*

*Institute of Architecture and Design*

*of the Lviv Polytechnic National University,*

*Senior Researcher*

*Ethnology Institute of National Academy of Sciences of Ukraine*

*(Lviv, Ukraine) romana\_motyl@ukr.net*

## TECHNOLOGIES OF BIOLOGICAL PHOTOVOLTAICS IN THE DESIGN OF THE URBAN ENVIRONMENT

*Biological photovoltaics (BPV) is a modern technology which uses the natural process of photosynthesis to produce electricity. By means of such technology it is possible to create compositions in any environment. They will have a number of advantages, for example: aesthetics, utility, cost etc. The aim of the article is to research the possibility of usage of renewable natural resources, in particular: organic voltaics in the design of the urban environment. The influence of the humanity's usage of the Earth's natural resources, usage and disposal of waste after the electricity production, the possibility of recycling of the disposed products of the generation of electricity are investigated. The comparison of usage of different methods of production of energy from the planet's exhaustible and inexhaustible resources is made, such as mining operations, oil production and forestry. The effect of the waste disposal from the energy-obtaining systems by the way of interaction with inexhaustible sources of energy: solar light, water, wind etc. is researched. The problem is proposed to be solved by the way of investigation of renewable resources of the planet, research and application of the "cradle to cradle" construction. On its basis the biological photovoltaics was researched, the main component of which is the moss for the production of electricity. The possibility of application of such system in the urban environment on the basis of the research of the scientists of the Institute for Advanced Architecture of Catalonia, the positive effect of such system and reasoning of the qualities as well as the opportunity of utilisation of such system without the consequences for our planet are also investigated.*

*The scientific novelty consists in the analysis of the extraction of the Earth's natural resources, their purpose and types in the research of modern technologies of electricity production by means of biological voltaic elements.*

*According to the results of the research it will be possible to create the design subjects of any environment, which will serve as the points of self-renewable electricity.*

**Key words:** *electricity, subject design, landscape design, photovoltaics, inexhaustible resources.*

**Постановка проблеми.** Актуальність питання зумовлена руйнуванням навколишнього середовища, що спричинене людським фактором і особливо гостро відчувається в наші дні. Через вплив людини на екологію у світі триває підвищення температури протягом останніх 50 років, і пов'язане воно, насамперед, із людською діяльністю. Велику роль у житті людини відіграє електроенергія (Living Blue Planet Report, 2015). Її видобуток відбувається шляхом використання вичерпних та невичерпних ресурсів планети. Виснаження вичерпних ресурсів Землі призводить до погіршення сучасного середовища та потенційно відбивається на потребах майбутніх поколінь. Вирубка лісів впливає на стан 8,5% світових лісів, при цьому 30% поверхні Землі вже вирубане. Виснаження природних ресурсів спричинене «прямими рушіями змін», такими як видобуток корисних копалин, нафти, рибальство та лісове господарство, а також «непрямими рушіями змін» – демографією (наприклад, зростання населення), економікою, суспільством, політикою та технологіями тощо (Gerald C. Nelson, 2005). Для

забезпечення стабільного життя людини природні ресурси Землі мають використовуватися з такою швидкістю, з якою вони можуть бути відновлені. Відновлювана енергетика – це корисна енергія, яка збирається з відновлюваних ресурсів, що природним чином поповнюються в часових масштабах людини, включаючи вуглецево-нейтральні джерела, такі як сонячне світло, вітер, дощ, припливи, хвилі та геотермальне тепло. Існує енергія вітру, гідроенергетика, сонячна енергетика, геотермальна енергія та біоенергетика (Islam, Huda, Abdullah, Saidur, 2000). Проблема цих технологій виробітку електроенергії – фінансові витрати. Задля стабілізації використання невичерпних ресурсів, виходу в широкі маси та використання технологій в суспільних галузях необхідно виробити мистецький підхід до проблеми електроенергетики та її видобутку і використання. Одною з галузей сонячної енергетики є біологічна фотоелектрична енергія.

**Аналіз досліджень.** Студентка Інституту провідної архітектури Каталонії Е. Митрофанова займалася дослідженням зеленої фасадної сис-

теми Moss Voltaics, що розглядає використання моху як джерела відновлювальної енергії. Вона створила фотовольтаїчні конструкції з використанням моху (Mitrofanova, 2014). Невичерпні джерела енергії дослідив у своїй роботі О. О. Сиваш (Сиваш, 2012). Вчений подає розгорнутий аналіз ефективності фотосинтетичної трансформації енергії сонячного випромінювання у придатному для біохімічного використання енергії та порівняння з прямим перетворенням сонячної енергії на електричну. Слід звернути увагу на статтю М. В. Ікбала та Ю. Кана (Iqbal, Kang, Jeon, 2019), котрі висвітлили проблему утилізації відходів та виробництво біогазу й міндобрив. Праця «Нова парадигма стійкої мобільності, заснована на електричних транспортних засобах, фотоелектричних панелях та системах зберігання електричної енергії: Тематичні дослідження для Неаполя та Салерно (Італія)» (Calise, Carpiello etc., 2019) та наукова стаття О. Ф. Лапаєвої «Трансформація енергетического сектора экономики при переходе к энергосберегающим технологиям и возобновляемым источникам энергии» (Лапаева, 2010) вивчають вплив споживання вичерпних ресурсів на екологію, проблеми екології, використання невичерпних ресурсів Землі.

**Мета статті** – дослідити можливість використання відновлюваних природних ресурсів, таких як органічна вольтаїка, в дизайні міського середовища.

У статті використовуються методи емпіричного дослідження, такі як спостереження, порівняння, опис, та загальнологічні методи дослідження – аналіз, узагальнення, аналогія.

**Виклад основного матеріалу.** На виробництво сонячних панелей витрачається багато матеріальних та енергетичних ресурсів, а значить, вони залишають після себе відчутний вуглецевий слід і певні побічні продукти. Також ефективно використовувати сонячні панелі можна далеко не скрізь і не завжди: погода, географічне розташування і час доби дають про себе знати. Екологічний дизайн – це інтегративна, екологічно відповідальна дисципліна дизайну. Екодизайн був зосереджений на деталях практики екологічного дизайну, таких як система виробів, або окремих продуктів чи галузь загалом (Charter, 2019). Одним із ключових факторів для використання місцевих ресурсів навколишнього середовища та впливу факторів, пов'язаних з енергією (таких як денне світло, сонячні надходження тепла та вентиляція) є використання аналізу ділянок. Оскільки весь життєвий цикл продукту має розглядатися в інтегрованій перспективі, представники з розробки,

проектування, виробництва, маркетингу, закупівлі та управління проектами мають спільно працювати над екодизайном розробленого або нового продукту. Разом вони мають найкращі шанси передбачити цілісний вплив змін продукту та його вплив на навколишнє середовище. Розгляд екологічного дизайну в процесі розробки продукту – це активний підхід до усунення забруднення навколишнього середовища через відходи продуктів. Концепції екодизайну нині мають великий вплив на більшу частину аспектів дизайну; вплив глобального потепління та збільшення викидів CO<sub>2</sub> змусили компанії розглянути більш екологічний підхід до свого дизайнерського мислення та процесу. Під час проектування та будівництва будівель дизайнери беруть на озброєння концепцію екодизайну протягом усього проектування, від вибору матеріалів до типу енергії, що споживається, та утилізації відходів.

Екоматеріали, такі як сировина, є менш затратними та зменшують екологічні витрати на транспортування, споживання палива та викиди CO<sub>2</sub>, що утворюються під час транспортування. Конструкція «коліска до коліски» Cradle-to-cradle (також її називають C2C або регенеративна конструкція) – це такий підхід до розробок у дизайні, який базується на запровадженні меншої кількості відходів, а також за допомогою цих регенеративних конструкцій людство дбає про наступні покоління, що і пояснює вислів «коліска до коліски», тобто «від покоління до покоління» (McDonough, 2002). Модель C2C демонструє високий потенціал зменшення фінансових витрат промислових систем. Наприклад, під час реконструкції комплексу Ford River Rouge, посадка рослинності на дахах заводів утримує та очищає дощову воду. Рослини також регулюють внутрішню температуру будівлі з метою економії енергії. Дах є частиною системи очищення дощової води. Така система заощадила 30 мільйонів доларів. На рис. 1 зображена реальна економічна система виробітку та утилізації відходів, поточне рішення проблем утилізації та система C2C як альтернатива. Зверху на рисунку зліва можна побачити схему одноразового використання продукту, що призводить до виснаження ресурсів землі, яке зумовлене збільшенням населення, що стимулює збільшення виробництва, яке своєю чергою сприяє збільшенню відходів.

Поточне рішення – це зменшення виробництва, повторне використання та переробка. Воно призведе до повільнішого виснаження ресурсів шляхом скорочення виробництва, а відходи перероблятимуться на нові продукти, проте все одно зростатимуть. Це питання часу, коли ресурси

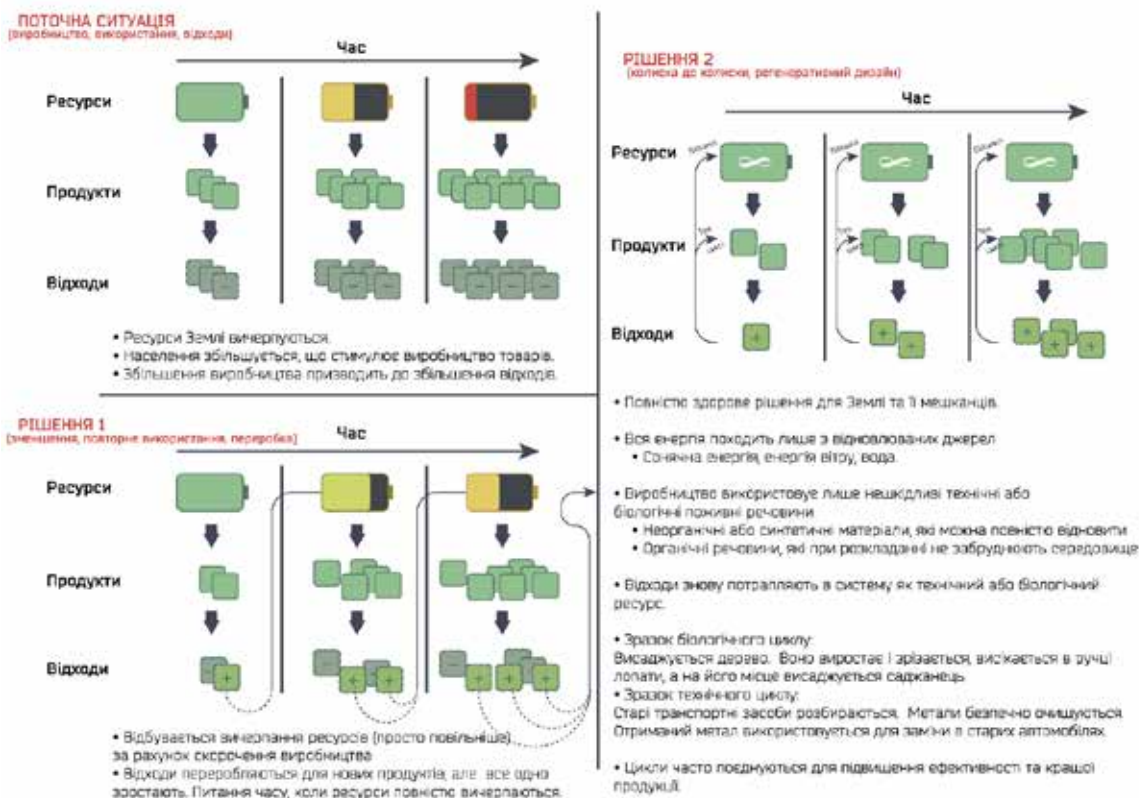


Рис. 1. Економічна система виробітку та утилізації відходів, поточне рішення проблем утилізації та система C2C (колиска до колиски) як альтернатива (автор А. Виходцева)

повністю вичерпаються. Друге рішення – це те, що пропонує система «Коліска до колиски»: регенеративна конструкція, що є цілком здоровою та безпечною для Землі та всього живого. Вся енергія надходить лише з відновлюваних джерел, виробництво використовує лише нешкідливі хімічні або біологічні поживні речовини, неорганічні або синтетичні матеріали, які можна повністю відновити. У дизайні та будівництві будівель дизайнери переймаються концепцією екологічного дизайну впродовж усього проектування: від вибору матеріалів до виду енергії, яка споживається, та утилізації відходів.

Екоматеріали, такі як використання місцевої сировини, є менш затратними і зменшують екологічні витрати на доставку, споживання палива та викиди CO<sub>2</sub>, що утворюються в результаті транспортування. Можна використовувати сертифіковані зелені будівельні матеріали, такі як деревина з лісових насаджень, що мають стійке управління, акредитацію таких компаній, як Рада з управління лісами (FSC) або Загальноєвропейська рада з сертифікації лісів (PEFCC). Екодизайн у різних приміщеннях створює атмосферу живої оазис серед сірих урбаністичних джунглів. Екодизайн дає дизайнеру велику свободу для експериментів та

створення незвичайних деталей. Зазвичай нові оригінальні предмети інтер'єру створюються із вторинної сировини (Living Blue Planet Report, 2015). С. В. дер Рін та С. Коуан визначили екологічний дизайн як «будь-яку форму дизайну, яка мінімізує руйнівні впливи на навколишнє середовище, інтегруючи себе в живі процеси» (McDonough, 2002: 18). Група європейських вчених розробила проект із використання моху як генератора електроенергії. Для цього вони «схрестили» живі рослини і фотовольтаїчні елементи, що дозволило їм виробляти електричний струм. Один з авторів проекту фотовольтаїки, дизайнер Е. Мітрофанова, котра працює разом із біохіміком П. Бомбеллі, розробила на основі моху модульну систему Moss Voltaics, яка одночасно може нести функцію елемента декору і служити джерелом чистої і справді «зеленої» енергії (Mitrofanova, 2014). Для підтвердження своєї теорії дизайнер створила робочий прототип, який можна було б застосовувати не тільки в масштабах будинку або квартири, а й цілих комплексів споруд. Об'єктом дослідження є екстер'єр, в якому використовуватиметься технологія біофотовольтаїки. Предметом дослідження є мох та інші рослини, що виробляють електрику та дизайнерські вироби, основою яких є цей мох.

Про цю конструкцію Е. Мітрофанова говорить, що така технологія «дешевша у виготовленні, може саморемонтуватися, самовідтворюватися, біологічно розкладається та набагато стійкіша», ніж стандартні фотоелектричні елементи. Система здатна генерувати електроенергію завдяки типу симбіотичних бактерій, які живуть поруч із мохом.

Мохова вольтаїка – проект Інституту сучасної архітектури Каталонії, розроблений на виготовленні відкритих дисертацій 2014 року. Згадана нова технологія називається біофотовольтаїкою (BPV), яка використовує природний процес фотосинтезу для отримання електричної енергії. У цьому процесі рослини, що використовують світлову енергію, споживають вуглекислий газ і воду з навколишнього середовища з метою перетворення його на органічні сполуки. Ці сполуки необхідні для життєдіяльності рослини (Mitrofanova, 2014). Електростанцію з моху становлять спеціальні порожнисті керамічні «цеглини», в яких і виростає рослина (рис. 2). Система може працювати з іншими видами рослин та водоростями, проте мох був вибраний через його придатні властивості. Оскільки мохи зазвичай зустрічаються в містах, у щілинах між мощенням, на дахах, на стінах і деревах, система може бути добре адаптована до міського середовища. Переваги мохів над вищими рослинами включають зменшення навантаження на вагу, підвищене вбирання води, відсутність вимог до добрив та високу посухостійкість.

Порівняно з фотоелектричними елементами на основі кремнію, такими як сонячна батарея, яка використовує біологічний матеріал для захоплення світлової енергії, біовольтаїка на основі моху буде дешевшою у виробництві та набагато стійкішою. Процес виготовлення нешкідливий

для навколишнього середовища. Крім того, панелі BPV можуть існувати в тих місцях, де сонячні батареї не ефективні – наприклад, у північних країнах із відсутністю прямих сонячних променів. Біофотоелектрична клітина являє собою організацію одиниць, об'єднаних послідовно або паралельно. Кожна одиниця – це повністю функціонуюча біоелектрична система. Вона складається з анодного біологічного матеріалу (моху), анода, катода, катодного каталізатора, «сольового мосту», що дозволяє позитивному заряду (як правило, протонів) переходити від анодного біологічного матеріалу до катода. Анод – це суміш гідрогелю та вуглецевих волокон, які допомагають залучати електрони. Гідрогель – це полімер, який може вбирати воду в 400 разів більше своєї ваги; він зберігає додаткову вологість для моху і є нейтральним для рН (Mitrofanova, 2015). Матеріали не шкодять метаболізму, тому перші випробування були зроблені на перевірку того, як волокна співіснують із мохом та поліакрилатом. Одним блоком 100x100 мм для анода були змішані вуглецеві волокна та гідрогель у кубиках і шар вуглецевої тканини; суміш була вкрита мохом. Блок показав 0,35 вольт заряду. Тим часом була створена «мохова плантація», з якої взяли анод для вбудовування в конструкцію. Початкова ідея полягала в тому, щоб зробити конструкцію, що буде міститись на фасаді, тому масштаб першого прототипу був досить невеликим, враховуючи, що це фасадна цегла з вентиляцією.

Що стосується техніки налаштування та електричних компонентів, то функціонування переходить у новий дизайн. Елементи збираються рельєфом на бічних гранях без додавання жодної цементної суміші. Електричні з'єднання проходять через ці з'єднання системи. Мох не підда-

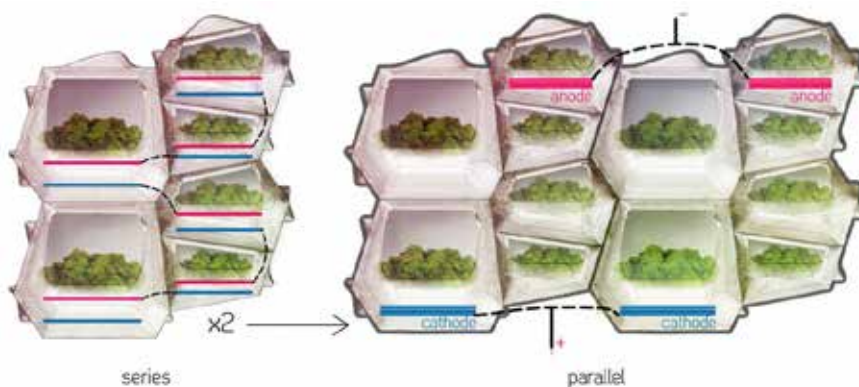


Рис. 2. Керамічні «цеглини», в яких виростає мох (Опубл.: <https://iaac.net/project/moss-voltaics/>)

ється впливу прямих сонячних променів, блоки забезпечують необхідне затінення. Для свого прототипу дизайнер використовує мох, але визнає, що з такою ж ефективністю можуть бути використані й інші типи рослин або водоростей. Вибір моху очевидний: він вже знаходиться в міському середовищі – в тротуарних тріщинах, на дахах будинків і в стінах – здається, ці місця є ідеальним середовищем для системи виробництва енергії на рослинній основі (Mitrofanova, 2014). Коли мох фотосинтезується, деякі з органічних сполук, які він виробляє, вивільняються через його коріння в ґрунт. Бактерії харчуються цими сполуками, розщеплюючи їх на кілька побічних продуктів, при цьому вивільняючи заряджені частинки – електрони. Мох використовує енергію від сонячного світла для перетворення вуглекислого газу з атмосфери на органічні речовини (рис. 3). Деякі з них виділяються в ґрунт, де бактерії розщеплюють органічні сполуки, вивільняючи електрони. Електрони фіксуються струмопровідними матеріалами, що створюють аноди. Використовуючи спеціальний контейнер та різноманітні речовини для мікроклімату, мох, що буде там рости, почне вивільняти електроенергію. Мох висаджують у «ґрунт», виготовлений із гідрогелевих та вуглецевих волокон, який притягує електрони та виконує роль анода, збираючи електрони для отримання електрики (Mitrofanova, 2015). «Цеглина» сконструйована як глибока ємність, що вкриває мох від прямих сонячних променів, щоб стимулювати його ріст. Компоненти глини, в основному неглазувані і це дає змогу матеріалу

поглинати невелику кількість дощової води, а значить, вони зберігають повітря навколо фасаду у вологому стані якомога довше. Однак нижня частина внутрішньої сторони цегли закрита, щоб зробити її водонепроникною і запобігти пошкодженням, які можуть бути викликаними постійно підвищеною вологістю. Один блок, наповнений мохом, вивільняє 0,4–0,5 вольт енергії (Mitrofanova, 2014). Для заряду одного телефонного пристрою з акумуляторною батареєю комфортна швидкість заряду становитиме 5 вольт. Для створення такої напруги потрібна конструкція, що складатиметься з 12 «цеглин» із мохом, що відповідає 4 м<sup>2</sup>. Для заряду ноутбуку необхідно 12 вольт напруги, що потребує 24 комірок, що відповідає 8 м<sup>2</sup>. А для заряду електронного мобільного транспорту необхідно 60 м<sup>2</sup> моху, тобто 180 комірок.

**Висновки.** Екологія відіграє важливу роль у житті кожної людини. Нині є безліч проблем, що негативно впливають на середовище: глобальне потепління, утилізація відходів, вичерпність енергоресурсів. Для того, щоб переосмислити витрати на створення енергії, важливо впроваджувати і пов'язувати екологію з різними сферами людської діяльності, зокрема зі сферою дизайну. Нині стрімко набирає темпів екологічний дизайн, і поєднання невичерпних енергоресурсів з цією сферою дасть поштовх на їх стрімкий розвиток. Зелені насадження нині заповнили міське середовище. Для цього є важливе підґрунтя: рослини регулюють не тільки температуру всередині будівель, а й у тому середовищі, де вони знаходяться. Дослідження

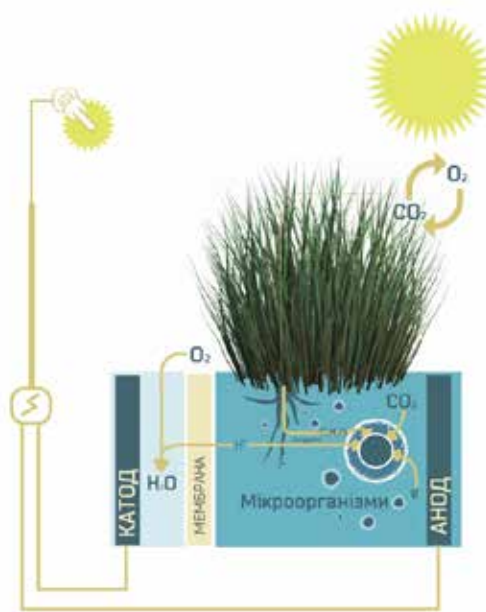


Рис. 3. Процес вивільнення електронів під дією фотосинтезу (автор А. Виходцева)

показало, що в середовищі з зеленими насадженнями температура повітря була нижча і показник повітря кращий, аніж у середовищі з малою кількістю рослинності або без рослин. Було встановлено, що рослини також акумулюють електроенергію, що в міському середовищі давало б багато переваг. Зокрема, це освітлення території: розміщуючи «цеглини» з мохом на фасад будівлі можна домогтися більшої площі насаджень і освітити більше простору в темний час доби. Також електроенергія потрібна для зарядки електронних пристроїв. За допомогою 60 м<sup>2</sup> можна зарядити навіть електричний мобільний транспорт. У досліджуваній вольтаїчній системі основою виробітку електрики є мох. Досліджено, що система здатна генерувати електроенергію завдяки типу симбіотичних бактерій, які живуть поруч із мохом. Для фотосинтезу моху необхідна вода, вуглекислий газ, що перетворюється на органічні речовини, які взаємодіють із бактеріями та виділяють електрони. У штучно

створеному середовищі це відбувається завдяки низці процесів: кожна комірка з мохом складається з анода, катода, катодного каталізатора, та «сольового мосту», що дозволяє позитивному заряду переходити від анодного біологічного матеріалу до катода. Анод є сумішшю гідрогелю та вуглецевих волокон, які допомагають залучати електрони, що вивільнюються і надалі дістаються до свого споживача. Комірки, в яких знаходиться мох, можна виготовляти абсолютно різних форм, дотримуючись пропорцій всіх додаткових елементів та використовуючи біологічні матеріали, такі як глина. Таким чином, можна створювати як окремі елементи предметного середовища, так і цілі композиції в ландшафтному дизайні, парках, скверах, місцях відпочинку. Така композиція, залежно від кількості моху, самостійно генеруватиме електрику для освітлення, зарядки електроприладів, частково розвантажить загальну міську електромережу та позитивно вплине на екологічний стан.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Лапаева О. Ф. Трансформация энергетического сектора экономики при переходе к энергосберегающим технологиям и возобновляемым источникам энергии. *Вестник ОГУ*. 2010. № 13 (119). С. 50–56. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/transformatsiya-energeticheskogo-sektora-ekonomiki-pri-perehode-k-energoberegayuschim-tehnologiyam-i-vozobnovlyaemym-istochnikam/viewer> (дата обращения 17.04.2021).
2. Сиваш О. О. Акумуляція сонячної енергії: фотосинтез чи штучні системи. *Біотехнологія*. 2012. Т. 2. № 6. С. 27–36. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/akkumulyatsiya-solnechnoy-energii-fotosintez-ili-iskusstvennye-sistemy/viewer> (дата звернення 18.04.2021).
3. Architectural Record–News, Continuing Ed, Products, Green Bldg. Retrieved 26 July 2017. URL: <https://www.architecturalrecord.com/> (дата звернення 18.04.2021).
4. Mitrofanova E. Moss Voltaics. 2014. URL: <https://iaac.net/project/moss-voltaics/> (дата звернення 18.04.2021).
5. Mitrofanova E. Moss Voltaics, video. 2015. URL: <https://vimeo.com/119702162> (дата звернення 18.04.2021).
6. Calise F., Cappiello F. L. Scientific Article. A novel paradigm for a sustainable mobility based on electric vehicles, photovoltaicpanels and electric energy storage systems: Case studies for Naples and Salerno (Italy). 2019. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032119303351> (дата звернення 18.04.2021).
7. Forest Stewardship Council. URL: <https://fsc.org/en> (дата звернення 19.04.2021).
8. Gerald C. Nelson. Ecosystems and Human Well-being: Current State and Trends. Chapter 3. 2005. p. 73. URL: <https://web.archive.org/web/20120121060944/http://www.maweb.org/documents/document.272.aspx.pdf>. (дата звернення 18.04.2021).
9. Harold Osborne. *The Oxford Companion to the Decorative Arts*. Clarendon Press. 1975. p. 746.
10. Iqbal M. W., Kang, Y., & Jeon H. W. Zero waste strategy for green supply chain management with minimization of energy consumption. *Journal of Cleaner Production*. 2019. p. 245. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652620352756> (дата звернення 18.04.2021).
11. Living Blue Planet Report. Institute of Zoology. 2015. p. 24, 33. URL: [http://assets.worldwildlife.org/publications/817/files/original/Living\\_Blue\\_Planet\\_Report\\_2015\\_Final\\_LR.pdf?1442242821&\\_ga=1.86667736.1395524293.1459225310](http://assets.worldwildlife.org/publications/817/files/original/Living_Blue_Planet_Report_2015_Final_LR.pdf?1442242821&_ga=1.86667736.1395524293.1459225310) (дата звернення 18.04.2021).
12. Charter M. Designing for a Circular Economy. Abingdon, 2019. P. 21.
13. Pan-European Forest Certification. URL: <https://www.pefc.org/> (дата звернення 18.04.2021).
14. Islam T., Huda A., Abdullah A. B., Saidur R. Renewable and Sustainable Energy Reviews. A comprehensive review of state-of-the-art concentrating solar power (CSP) technologies: State and Trends. 2000. P. 987–1018. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032118303113> (дата звернення 18.04.2021).
15. Vander Rin S., Kovan S. Ecological design. *Island Press*. 1996. p. 18.
16. McDonough W. (2002) *Cradle to Cradle: Remaking the Way we Make Things*. New York: North Point Press. URL: <https://archive.org/details/cradletocradlere0000mcdo/page/n3/mode/2up> (дата звернення 18.04.2021).

#### REFERENCES

1. Lapaeva O. F. Transformatsiya energeticheskogo sektora ekonomiki pri perehode k energosberegayuschim tehnologiyam i vozobnovlyaemyim istochnikam energii [Transformation of the energy sector of the economy during the transition to energy-

saving technologies and renewable energy sources]. *Vestnik OGU*. 2010. Nr 13 (119). S. 50–56. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/transformatsiya-energeticheskogo-sektora-ekonomiki-pri-perehode-k-energoberegayuschim-tehnologiyam-i-vozobnovlyaemym-istochnikam/viewer> (Last accessed: 18.04.2021) [In Russian].

2. Syvash O. O. Akumuliatsiia soniachnoi enerhii: fotosintez chy shtuchni systemy. *Biotehnolohiia*. 2012. T. 2. № 6. S. 27–36 [Accumulation of solar energy: photosynthesis or artificial systems. *Biotechnology*. 2012. T. 2. Nr 6. S. 27–36]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/akkumulyatsiya-solnechnoy-energii-fotosintez-ili-iskusstvennye-sistemy/viewer> (Last accessed: 18.04.2021) [In Ukrainian].

3. Architectural Record – News. Continuing Ed. Products. Green Bldg. Retrieved 26 July 2017. <https://www.architecturalrecord.com/> (Last accessed: 18.04.2021) [In English].

4. Mitrofanova E. Moss Voltaics. 2014. URL: <https://iaac.net/project/moss-voltaics/> (Last accessed: 18.04.2021) [In English].

5. Mitrofanova E. Moss Voltaics. video. 2015. URL: <https://vimeo.com/119702162> (Last accessed: 18.04.2021) [In English].

6. Calise F., Cappiello F. L. etc. Scientific Article. A novel paradigm for a sustainable mobility based on electric vehicles, photovoltaic panels and electric energy storage systems: Case studies for Naples and Salerno (Italy). 2019. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032119303351>. (Last accessed: 18.04.2021) [In English].

7. Forest Stewardship Council. URL: <https://fsc.org/en> (Last accessed: 18.04.2021) [In English].

8. Gerald C. Nelson. Ecosystems and Human Well-being: Current State and Trends. Chapter 3. 2005. p. 73. URL: <https://web.archive.org/web/20120121060944/http://www.maweb.org/documents/document.272.aspx.pdf> (Last accessed: 18.04.2021) [In English].

9. Osborne H. *The Oxford Companion to the Decorative Arts*. Clarendon Press. 1975. p. 746,

10. Iqbal M. W., Kang, Y., & Jeon H. W. Zero wastestrategy for green supply chain management with minimization of energy consumption. *Journal of Cleaner Production*. 2019. p. 245. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652620352756> (Last accessed: 19.04.2021) [In English].

11. Living Blue Planet Report. Institute of Zoology. 2015. P. 24, 33. URL: [http://assets.worldwildlife.org/publications/817/files/original/Living\\_Blue\\_Planet\\_Report\\_2015\\_Final\\_LR.pdf?1442242821&\\_ga=1.86667736.1395524293.1459225310](http://assets.worldwildlife.org/publications/817/files/original/Living_Blue_Planet_Report_2015_Final_LR.pdf?1442242821&_ga=1.86667736.1395524293.1459225310) (Last accessed: 18.04.2021) [In English].

12. Charter M. Designing for a Circular Economy. Abingdon. 2019. p. 21 (Last accessed: 18.04.2021) [In English].

13. Pan-European Forest Certification. URL: <https://www.pefc.org/> (Last accessed: 18.04.2021) [In English].

14. Islam T., Huda A., Abdullah A. B., Saidur R. Renewable and Sustainable Energy Reviews. A comprehensive review of state-of-the-art concentrating solar power (CSP) technologies: State and Trends. Scientific Article. 2000. P. 987–1018. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032118303113> (Last accessed: 18.04.2021) [In English].

15. Vander Rin S., Kovan S. Ecological design. *Island Press*. 1996. p. 18. [In English].

16. McDonough W. (2002) *Cradle to Cradle: Remaking the Way we Make Things*. New York: North Point Press. URL: <https://archive.org/details/cradletocradlere0000mcdo/page/n3/mode/2up> (Last accessed: 18.04.2021) [In English].