



ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ У СФЕРІ ЗАХИСТУ ДОВКІЛЛЯ

КОЛЕКТИВНА МОНОГРАФІЯ

Міністерство освіти і науки України
Національний університет «Львівська політехніка»
кафедра інформаційних систем і технологій
Київський національний університет імені Тараса Шевченка
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна
Національний лісотехнічний університет України
Сілезька академія (Польща)
Краківська політехніка імені Тадеуша Костюшки (Польща)
Роуанський університет (США)
Вища школа міжнародного бізнесу ISM (Словаччина)
ІТ-компанія SoftServe (Україна)
Національний Еразмус+ офіс в Україні
Департамент екології та природних ресурсів Львівської обласної
державної адміністрації (Україна)

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ У СФЕРІ ЗАХИСТУ ДОВКІЛЛЯ

Колективна монографія

Опублікована за результатами Міжнародної науково-практичної конференції
«Інформаційні технології у сфері захисту довкілля»

Львів

2024

УДК 004:502

DOI <http://doi.org/10.35668/7826-38-4>

Рекомендовано до видання Вченою Радою ВСП «Навчально-науковий інститут просторового планування та перспективних технологій» Національного університету «Львівська політехніка», протокол №11 від 17 травня 2024 року

Рецензенти (редактори):

Володимир Маєвський

Volodymyr Mayevsky

доктор технічних наук, професор, директор ННІ Деревообробних технологій і дизайну Національного лісотехнічного університету України

Василь Приймак

Vasyl Pryjmak

доктор економічних наук, професор, завідувач кафедри інформаційних систем у менеджменті Львівського національного університету імені Івана Франка

Ростислав Ткачук

Rostyslav Tkachuk

доктор технічних наук, професор, начальник кафедри управління інформаційною безпекою Львівського державного університету безпеки життєдіяльності

Інформаційні технології у сфері захисту довкілля : колективна монографія / за загальною редакцією Маєвського В., Приймака В., Ткачука Р. // за матеріалами Міжнародної науково-практичної конференції (Львів, 16-17 травня 2024 р.). Львів : ННБК «АТБ», 2024. – Режим доступу: <https://science.lpnu.ua/uk/itep-2024>

ISBN 978-966-2042-84-9

До колективної монографії включені результати наукових досліджень авторів за матеріалами Міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційні технології у сфері захисту довкілля» (Львів, 16-17 травня 2024 р.).

УДК 004:502

Відповідальний за випуск – Ірина Ангелко

Матеріали подано в авторській редакції.

Відповідальність за зміст матеріалів, їх відповідність вимогам чинного правопису і достовірність фактів та статистичних даних несуть автори.

ISBN 978-966-2042-84-9

© Авторський колектив, 2024
© Національний університет
«Львівська політехніка», 2024

ЗМІСТ

Баран Мар'яна ДОСЛІДЖЕННЯ ОЦІНКИ СИСТЕМ ГЛОБАЛЬНОГО МОНІТОРИНГУ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА ЗАСОБАМИ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ	5
Войтусік Степан, Ісаков Олександр ЗАСТОСУВАННЯ ГЕНЕРАТОРІВ ПСЕВДОВИПАДКОВИХ ПОСЛІДОВНОСТЕЙ В СИСТЕМАХ АКТИВНОГО ПОДАВЛЕННЯ ШУМУ	12
Horyslavets Pavlo, Mukan Andrii THE IMPACT OF FINANCIAL MARKET REGULATORS ON TRANSFER PRICING STRATEGIES OF CORPORATIONS	19
Даценко Людмила, Тітова Світлана, Дубницька Маргарита ОГЛЯД ВИКОРИСТАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ЗАХИСТУ ДОВКІЛЛЯ В УКРАЇНІ: ПРОБЛЕМИ ТА ВИКЛИКИ	25
Кобильник Тарас ДОСЛІДЖЕННЯ МУЛЬТИКОЛІНЕАРНОСТІ З ВИКОРИСТАННЯМ ПАКЕТУ MCTEST СТАТИСТИЧНОГО СЕРЕДОВИЩА R	32
Kuzyk Oleh, Dan'kiv Olesya, Uhryn Lesya DIAGNOSTICS OF ATMOSPHERIC POLLUTION BY MEANS OF QUANTUM DOTS USING OSCILLATORY NEURONS	39
Kukharska Nataliia DEVELOPMENT OF A SCALABLE SYSTEM FOR MONITORING THE STATE OF THE ATMOSPHERE AND AIR POLLUTION	46
Куч Остап, Лагун Ілона ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА ІОТ-СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ ПАСІКИ	60
Lagun Andrii USING THE IDEAS OF THE ECOLOGICAL MONITORING TO IMPROVE ENVIRONMENTAL PROTECTION	67
Лагун Ярослав, Стахів Роман ОСОБЛИВОСТІ ОБРОБКИ ДАНИХ ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ В СИСТЕМАХ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ	73
Маєвська Оксана, Кшивецький Богдан, Сторожук Віктор ФАКТОРИ ВПЛИВУ НА ЕКОЛОГІЧНУ БЕЗПЕКУ РЕГІОНІВ УКРАЇНИ В УМОВАХ ВІЙНИ	81
Машевська Марта, Дупак Богдан, Мруць Володимир СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ В МІСТІ ЛЬВОВІ	88
Олексюк Ганна, Попадинець Назарій, Хром'як Йосиф, Дяченко Андрій БЕЗПЕКА ДОВКІЛЛЯ У ВУГЛЕВИДОБУВНИХ РЕГІОНАХ: НАСЛІДКИ ДІЯЛЬНОСТІ ТА ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ ТЕРИТОРІЙ (НА ПРИКЛАДІ ЛЬВІВСЬКО-ВОЛИНСЬКОГО ВУГІЛЬНОГО БАСЕЙНУ)	101
Скиба Вікторія, Ганчук Максим, Аюбова Ельнара БІОМІМІКРІЯ: СТАЛІ ТЕХНОЛОГІЧНІ РІШЕННЯ ЧЕРЕЗ ЕВОЛЮЦІЙНИЙ ДОСВІД ПРИРОДНИХ ЕКОСИСТЕМ	110

Скиба Вікторія, Ганчук Максим, Аюбова Ельнара ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В ГАЛУЗІ ЕКОЛОГІЇ: ОСВІТНІЙ, НАУКОВІЙ ТА ПРАКТИЧНІЙ ДІЯЛЬНОСТІ	118
Сенета Зоряна СІЛЬСЬКИЙ ТУРИЗМ – ОДИН ІЗ ЕКОЛОГІЧНО ОРІЄНТОВАНИХ ВИДІВ ТУРИЗМУ, СПРЯМОВАНИЙ НА РЕАЛІЗАЦІЮ КОНЦЕПЦІЇ СТАЛОГО РОЗВИТКУ СІЛЬСЬКИХ ТЕРИТОРІЙ	128
Seneta Mariana DIGITAL TRANSFORMATION IN THE FIELD OF ENVIRONMENTAL RESEARCH	136
Сенета Мар'яна, Скольський Ігор, Сенета Зоряна ВИКОРИСТАННЯ КВАДРОКОПТЕРІВ ЯК ОДИН ІЗ МЕТОДІВ ЦИФРОВОГО МОНІТОРИНГУ ДОВКІЛЛЯ	143
Слюсарчук Арсен ІНТЕГРАЦІЯ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ В СИСТЕМИ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ ДАТА-ЦЕНТРІВ	153
Стрямець Галина, Стрямець Сергій ІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ БІОЦЕНОТИЧНОГО МОНІТОРИНГУ ПРИРОДНОГО ЗАПОВІДНИКА «РОЗТОЧЧЯ»	161
Угрин Леся ВИКОРИСТАННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СИСТЕМ В ОЦІНЦІ СТАНІВ ТЕРИТОРІЙ ПРИРОДОЗАПОВІДНОГО ФОНДУ	170
Ялечко Володимир ВПРОВАДЖЕННЯ SMART ТА ІОТ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ СИСТЕМ ТЕПЛО- ТА ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ	176

БІОМІМІКРІЯ: СТАЛІ ТЕХНОЛОГІЧНІ РІШЕННЯ ЧЕРЕЗ ЕВОЛЮЦІЙНИЙ ДОСВІД ПРИРОДНИХ ЕКОСИСТЕМ

Скиба Вікторія

Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного
м. Запоріжжя, Україна
viktoriiia.skyba@tsatu.edu.ua

Ганчук Максим

Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного
м. Запоріжжя, Україна
ganchukmn@gmail.com

Аюбова Ельнара

Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного
м. Запоріжжя, Україна
elnara.aybova@tsatu.edu.ua

Abstract. The publication provides a detailed characterization of a modern direction—biomimicry (biomimetics), which is still insufficiently popularized in Ukrainian education and science. It highlights the historical background of this alternative direction, which is based on prototyping natural forms, materials, functions, models, and constructions into sustainable technological solutions; legislative approaches; and the possibilities of modern information technologies that make biomimicry accessible for scientific research and the practical implementation of innovative ideas. The authors discuss the experience of practically implementing this approach in various fields and industries, including in combination with modern information and communication technologies (ICT).

Keywords: *biomimicry, biomimetics, innovation, information technology, sustainable technological solutions.*

Анотація. У публікації наводиться детальна характеристика сучасного спрямування – біомімікрії (біоміметики), ще недостатньо популяризованого в українській освіті та науці. Висвітлюється історичне підґрунтя даного альтернативного спрямування, яке базується на прототипуванні природних форм, матеріалів, функцій, моделей та конструкцій в сталі технологічні рішення; законодавчі підходи; можливості сучасних інформаційних технологій, які роблять біомімікрію доступною для наукового пошуку та практичної реалізації новітніх ідей. Авторами висвітлюється досвід практичного впровадження даного підходу в різні сфери та галузі, в т.ч. в поєднанні з сучасними можливостями ІКТ.

Ключові слова: *біомімікрія, біоміметика, інновації, інформаційні технології, сталі технологічні рішення.*

«Біомімікрія» (або біоміметика) (від грец. bios – життя і mimesis – імітувати) буквально означає «наслідувати, імітувати життя». Термін «біомімікрія» з'явився ще в 1982 році. Біоніка або біомімікрія (з англ. «biomimicry») одна з концептуальних систем, що лежить в основі кругової економіки яка набула популярності завдяки книзі Джанін Бенюс «Біомімікрія: інновації, на які надихнула природа» (1997), яка фактично популяризувала дане спрямування. Згодом безліч біологів, натуралістів, фінансистів, освітян і екологічно свідомих дизайнерів приєдналися до Д. Бенюс, щоб розпочати те, що тепер можна назвати глобальним рухом за біомімікрію.

Авторка визначає біомімікрію як нову науку, яка вивчає моделі природи, а потім імітує або запозичує ідеї, що лежать в основі природних процесів, для вирішення людських проблем. У своїй книзі вона формулює принципи, на які покладається біомімікрія, зокрема «природа-модель», «природа-міра» та «природа-наставник», а також підкреслює стійкість як загальну мету біоніки [1].

Кембриджський словник надає визначення терміну біомімікрія, як практика копіювання технологічного та промислового зразка природних процесів: ідея біомімікрії полягає в тому, що природа вже вирішила проблеми, які ми намагаємося вирішити [2].

По факту термін «біомімікрія» є похідним від визначення «біоміметика», який має більш давню історію походження даного визначення. Термін, який походить від грецьких слів «*bios*» (життя) і «*mimesis*» (наслідувати), був запропонований американським ученим і винахідником Отто Шмідтом у 1960-х роках для опису процесу переходу від біології до технології. В історичному аспекті біоміметики часто асоціюється з Леонардо да Вінчі, який вважається пешим у світі вченим-біоміметиком.

Історично розвиток біоміметики можна розділити на наступні етапи: біоміметика, заснована на моделях, була запроваджена, починаючи приблизно з 1950 року, головним чином для використання в проектуванні та будівництві літаків, транспортних засобів і кораблів шляхом виведення правил моделювання на основі теорії подібності для перенесення принципів біологічних систем у технічні конструкції. Близько 1960 року два стовпи біоміметики (біологія та технологія) були вперше лінгвістично об'єднані завдяки впливу кібернетики та поставлені на спільну лінгвістичну та методичну основу. Потім ця основа стала важливою основою для центрального елемента галузі біоміметики: передачі знань. Приблизно з 1980 року біоміметика також була розширена до мікро- та наномасштабів. Ключем до цих розширень були нові методи вимірювання та технології виробництва. З 1990-х років біоміметика отримала подальший поштовх, зокрема завдяки стрімкому розвитку технологій у суміжних галузях інформатики, нанотехнологій, мехатроніки та біотехнологій [3].

Сьогодні область біоміметики все більше вважається науковою дисципліною, яка породила численні інновації в продуктах і технологіях. Це міждисциплінарне спрямування, що об'єднує експертів у галузі біології, інженерних наук та багатьох інших дисциплін, має особливо високий потенціал для розвитку інновацій. У сучасному розумінні цього слова під біоміметикою розуміють застосування підходів до досліджень і розробок, які представляють інтерес для практичного застосування та використовують знання, отримані в результаті аналізу біологічних систем, для пошуку рішень проблем, створення нових винаходів та інновацій і передачі цих знань технічним системам. Ідея перенесення біологічних принципів у технологію є центральним елементом біоміметики.

Законодавчо з 2015 року дане наукове спрямування регламентується міжнародними Стандартами ISO 18458 та ISO 18459:

- ISO 18458:2015 «Біоміметика. Термінологія, поняття і методологія» – служить основою для термінології в біоміметики для наукової, промислової та освітньої областей;
- ISO 18459:2015 «Біоміметика. Біоміметична оптимізація структури» – визначає функції та обсяги біоміметичних структурних методів оптимізації, які враховують структуру компонентів з урахуванням сили, ваги або терміну експлуатації [3].

Біомімікрія – це відносно нове спрямування, сфокусоване виключно на еволюційному досвіді природних екосистем, основними серед яких є:

- природа використовує лише необхідну їй енергію;
- природа підбирає оптимальні форми для функціонування;
- у природному середовищі все переробляється;
- природа спирається на різноманітність;
- кожна регіональна екосистема – унікальна [1; 4].

Виділяють три рівні біомімікрії: рівень організму, поведінки та імітація всієї екосистеми. На кожному рівні є п'ять вимірів, які визначають ступінь імітації: форма, матеріал, конструкція, процес і функція [4; 5].

Таким чином, природа часто концептуалізується як «каталог продуктів», «жива енциклопедія винахідливості», яка має 3,8 млрд. років ідей і розумних адаптацій, містить глибинну мудрість, з якою люди повинні консультиватися, наслідувати та вчитися, щоб «досягти» стійкості [6, 7].

Протягом останніх трьох десятиліть біомімікрія набула популярності як дисципліна та організаційна структура, яка поєднує інженерні, проектні та біологічні дослідження. Глобальна мережа «Біомімікрія» – це об'єднання практиків та організацій, які працюють у 21 країні, 36 регіональних мережах і охоплюють понад 12 тис. членів. Мережа походить від Інституту біомімікрії в Монтані, США [6; 8].

Дуже часто біомімікрійні підходи позиціонуються як концептуальні підходи на шляху до сталого розвитку, але з огляду на дане твердження думка науковців дуже різниться, викликає наукові протиріччя та постійні дискусії. Прихильники цієї гіпотези (починаючи від Ж. Бенюс, керівниці консалтингової фірми та освітньої мережі Biomimicry 3.8), стверджують, що використання нових технологій, які є прототипами природних форм, функцій, шляхом скорочення ресурсовикористання, робить ключовий внесок в досягнення цілей сталого розвитку. А також є твердження, що прямий зв'язок важко відстежити, а «біомімікрія не обов'язково забезпечує стійкі результати» до концептуальної критики даного підходу на основі економічної сталості, стверджуючи, що «людська винахідливість залишається вищою за біологічні форми» [9-11].

Кожна ґрунтовна критика, у т.ч. і наукова, має місце на існування, а допоки фахівці доводять, що біомімікрійні принципи створюють протиріччя для певних світоглядних концепцій матеріалізму, дане кросдисциплінарне спрямування набуває обертів у вигляді нових технологічних моделей, натхненних природою, а прототипування реалізується у незвичних та вельми інноваційних формах та технологіях.

У свій час біомімікрію сприйняли як мейнстрім, орієнтований на бізнес-інвайронменталізм, як доказ того, що економічне зростання та піклування про навколишнє середовище більше не потрібно розглядати як опозицію одне до одного. На початку XXI ст. багато прихильників біомімікрії поклали надії на біологічну революцію в промисловому виробництві, яка зможе скасувати токсичну та ресурсомістку практику XX-го століття та призведе до більш ефективної, екологічно стійкої матеріальної культури, описуючи біомімікрію як ключовий метод створення більш екологічно стійкої економіки [12].

Практичні приклади біомімікрійних рішень з'явилися задовго до появи самого терміну та спрямування. Найпоширенішим загальнозживаним прикладом біоміметики є усім добре відомі застібки-липучки (або «Velcro»), винайдені у 1948 році швейцарським інженером Жоржем де Местралем. Природним прототипом стали особливості пристосувальних механізмів коробочок насіння нетреби звичайної (*Xanthium strumarium*). Ще одним з прикладів технологій матеріалів є клейка імітація лапок гекона, сучасні інноваційні матеріали включають фарби, які імітують кольори крил метелика; надміцна кераміка, що імітує перламутр; надруковані на 3D принтерах, стійкі до переломів, схожі на кістки матеріали.

Фізіологічні особливості листя лотосу надихнули на створення гідрофобних фарб стійких до забруднення та плісняви. Поверхня листя цієї рослини настільки добре відштовхує бруд і воду, що ця властивість самоочищення у 1977 р., завдячуючи проф. Бонського університету Вільгельму Бартлотту, отримала назву «лотос – ефект». У 1999 р. німецька будівельна компанія Sto випустила екстер'єрну фарбу під назвою «Lotusan» (рис.1) [13].



Рис. 1. Природний «лотос – ефект», втілений німецькою компанією Sto у екстер'єрній фарбі «Lotusan» [13]

Після висихання мікротекстура фарби імітує поверхню листя лотоса, щоб відштовхувати вологу та бруд ззовні.

Поверхні, стійкі до поширення бактерій і мікроорганізмів, новація від компанії Sharklet Technologies – прототипи акулячої шкіри (рис. 2) [14]. У хімії багато робіт зосереджено на штучному фотосинтезі, наприклад, розробка дешевих, енергоефективних сонячних батарей.

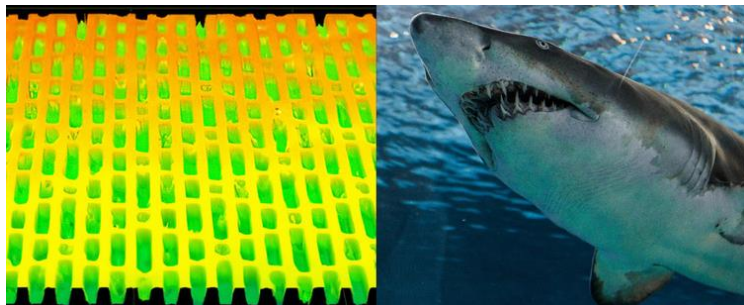


Рис. 2. Стійкі до бактерій і мікроорганізмів поверхні від Sharklet Technologies [14;15]

Професор органічної хімії Каліфорнійського університету Герберт Вейт, працюючи над створенням клею для мокрих поверхонь звернув увагу на природну здатність молюсків утримуватися на одному місці за допомогою бісуса, білкових ниток, здатних міцно приклеюватися до воску, скла, кістки та металу. Робота Вейта з розробки аналогічних білків дала початок багатьом іншим

дослідженням та сприяла створенню технології PureBond, що застосовується в деревній промисловості та не потребує використання формальдегідів. Створення екологічно чистий порошок карбонату кальцію також «завдячує» досвіду природи, а саме процесу фіксації вуглекислого газу коралами; порошок може замінити частину портландцементу в традиційних бетонних сумішах, що зменшує вуглецевий слід цементу

Британська компанія Stabilitech створила біоміметичну технологію, що дозволяє зберігати та обробляти біологічні зразки без охолодження. Традиційно біологічні матеріали, такі як вакцини, повинні зберігатися в холодильнику до моменту доставки пацієнту, щоб запобігти їх деградації. Медичні заклади в країнах, що розвиваються, не маючи надійної холодильної інфраструктури, були змушені викидати половину поставлених вакцин через проблеми з температурою. Імітуючи принципи роботи біологічних механізмів (наприклад, деякі види мохів та креветок), компанія Stabilitech успішно розробила нетоксичні та недорогі допоміжні хімічні речовини, які стабілізують біологічні матеріали при температурі навколишнього середовища [16].

Сучасне інженерне рішення японського потягу-кулі, який розвиває швидкість до 200 миль/год. теж є одним з найпоширеніших прикладів прототипування природних процесів та ознак в технологічній системі (рис. 3). Первинна модель потягу мала певний недолік, викликаний підвищенням тиску повітря в тунелях, що створювало звуковий гуркіт кожного разу, коли поїзд виходив з тунелю. Люди, які живуть на відстані до 15 миль, скаржилися на шум. Інженери, яким доручили переробити носову частину поїзда, щоб зменшити шум, створили нову конструкцію за зразком дзьоба рибалочки (*Alcedo atthis*), птаха, який пірнає головою вперед у воду, при цьому не утворюючи бризок та сплеску води. Новий поїзд тихіший за оригінальну модель, на 10 % швидший і при цьому споживає електроенергії на 15 % менше [17].



Рис. 3. Аеродинаміка обтічного дизайну вдосконаленого японського високошвидкісного поїзда Shinkansen Series 500 була змодельована за дзьобом птаха зимородка [17]



Рис. 4. Приклад протипування за принципом фізіологічних особливостей намібійського жука [15]

намібійський жук, що використовує безмежні сонячні ресурси, добові перепади температур і, переважно, теплі вітри для конденсації вологи в прісну воду. Катарський дослідний завод компанії Sahara Forest Project задіяв цю систему для вирощування цінних продовольчих культур, використовуючи на 50% менше води, порівняно з традиційними засобами [15].

Технологія ORNILUX – це утеплене скло, виготовлене німецькою компанією Arnold Glas, завдяки якому вдалося запобігти випадкам гибелі птахів (рис.5). Для цього використовується спеціальне ультрафіолетове світловідбиваюче покриття, яке для людського ока здається майже прозорим, але добре видне птахам, адже вони здатні бачити більш

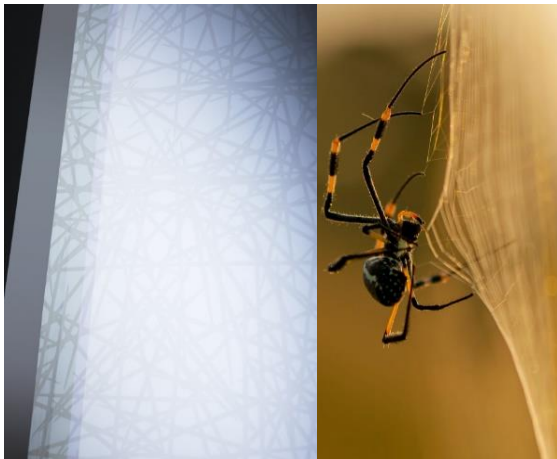


Рис. 5. Ornilux bird protection glass [18]

широкий ультрафіолетовий спектр, ніж людське око. Ідея використати ультрафіолетове покриття з'явилася завдяки науковим дослідженням, які виявили, що деякі види павуків влітають у свою павутину світлотехнічні пасма. Так павуки заманюють комах та відлякують великих тварин, зокрема птахів [18; 19].

Провідна науково-дослідна команда Nanomik спеціалізується на розробці рецептур, відкритті нових біомолекул і біоінженерії мікроорганізмів. Увесь цей досвід допомагає розробляти екологічно чисті, економічно ефективні та високобіологічні продукти, такі як біофунгіциди, біоінсектициди, натуральні інгібітори цвілі, водоростей і бактерій тощо [20].

В ІКТ поведінка розподілу бджіл надихнула на динамічний розподіл серверів. REGEN Energy - технологічна компанія, заснована на основі біомімікрії, засновники якої поставили собі за мету трансформувати підходи до енергоефективності та розробити нову складну технологію управління енергією на основі комунікаційних моделей медоносних бджіл. Бджоли спілкуються між собою за допомогою мови тіла та залишають феромонні сліди. У вулику немає управління «зверху вниз». Новатори Марк Кербель та Роман Кулик зрозуміли, що зможуть керувати приладами більш ефективно, якщо адаптують цю логіку до своєї технології. Ця інноваційна ідея призвела до запуску компанії, яка позиціонує себе для сильного майбутнього на ринках, що розвиваються, незважаючи на початковий скептицизм, переповнений і застиглий ринок енергетичних технологій [19].

На сьогодні безліч цікавих рішень по всьому світу нараховує застосування біомімікрії в архітектурні та дизайні. Відомий своїми роботами зimbabwe'їський архітектор Мік Пірс, спостерігаючи за термітником, дійшов висновку, що його форма та вентиляція ідеально підходять для навколишнього середовища. Він створив проект-прототип термітника у

вигляді торгово-офісної будівлі Eastgate Center Хараре (Зімбабве), офісної будівлі в Мельбурні (Австралія), а пізніше їдальні в Шеньчжені (Китай). Розумна будівля Eastgate сконструйована з нерівних кам'яних деталей на фасаді (прототипи колючок кактусу). Загострені поверхні, поглинають менше тепла, ніж звичайне плоске скло, цегла чи камінь, вони також легше відводять тепло, зберігаючи холоднішим, ніж звичайна будівля [21].

Варто зауважити, що досвід **впровадження біомімікрії в освітню складову** має місце в європейських та американських університетах. Наприклад, Університет Акрона (Огайо, США) та Інститут мистецтв Клівленда створили спільну програму з біомімікрії, яка пропонує здобувачам три основні курси (освітні програми): бакалавра з біомімікрії, програму стипендій з біомімікрії та програму доктора філософії.

Університетом штату Аризона (спільно з консалтинговою компанією з біоінтелекту Biomimicry 3.8) розроблено та впроваджено дві онлайн-програми рівня магістра, а також бакалавра в форматі денної форми навчання.

Університет Утрехта в Нідерландах пропонує магістерську програму Bio-Inspired Innovation – це дворічний курс денної форми навчання, орієнтований на студентів зі ступенем бакалавра біологічних наук. Дана програма пропонує унікальне поєднання знань і навчання навичкам, які підтримуватимуть пошук і розробку циклічних бізнес-моделей і досліджень та інновацій, натхненних біологією.

Бакалаврська програма «Біоміметика» пропонується Вестфальським університетом прикладних наук (Німеччина) та позиціонується як міждисциплінарний курс, в межах котрого здобуваються компетентності з наукових елементів біології та хімії, основ математики та ІТ та отримуються навички технічного створення прототипів на основі принципів, знайдених у природі.

Біомімікрія включена в освітні програми Ібероамериканського університету (Мехіко, Мексика), два курси впроваджені в Університеті мистецтва та дизайну Онтаріо (Торонто, Онтаріо, Канада), дослідження в сфері біоміметики для інженерного проектування є в Манчестерському університеті (Великобританія).

Магістерська програма «Біомімікрія» Шумахерського коледжу (Великобританія), занурює студентів у середовище навчання, поєднуючи науку, мистецтво та дизайн для вивчення тонкощів біомімікрії.

Коледж мистецтва та дизайну Міннеаполіса (MCAD) (Міннеаполіс, Міннесота, США) пропонує здобувачам он-лайн курс «Biomimicry» (120 год.) у тематичній області екологічного дизайну. Курс включає стратегії проектування, засновані на природі, екологічний дизайн.

В Університеті Юти (США) є Товариство біомімікрії – це новий міждисциплінарний дослідницький центр, а саме зареєстрована студентська організація. А в Університеті Гаддерсфілда (Великобританія) створено Center for Biomimetic Societal Futures.

Університет Каліфорнії, Берклі, а саме Центр екологічної хімії має курс для аспірантів під назвою «Більш екологічні рішення» призначений для ознайомлення студентів і потенційних майбутніх дослідників із методологією біомімікрії на практичних прикладах. На відміну від більшості інших курсів навчання, це не гіпотетичні тематичні дослідження, а справжні проблеми, представлені деякими з найбільших і найуспішніших компаній країни та світу [22, 23].

В освітніх програм українських ЗВО вельми рідко можна зустріти «біомімікрію» в якості окремого освітнього компоненту, не часто дана тематика висвітлюється і в структурі силабусів окремих освітніх компонентів, проте варто зауважити, що дана практика є і вона успішно популяризується [24].

Сучасні можливості інформаційних технологій – один з основних критеріїв доступності для використання в освітньому процесі та науковому пошуці біомімікрійних стратегій.

Грунтовний плацдарм інформаційного контенту – це результат плідної багаторічної роботи Джанін Бенюс та її команди. Дані розробки включають:

- Biomimicry 3.8 – це провідна у світі консалтингова компанія з біоінтелекту, яка пропонує консультації з питань біологічного інтелекту, професійне навчання та натхнення (<https://synapse.bio/>);

- Вебсайт з цифровими ресурсами Інституту біомімікрії (Монтана, США), який містить TOOLBOX – набір інструментів біомімікрії (<https://toolbox.biomimicry.org/>),

- ASKNATURE (<https://asknature.org/>) інноваційний цифровий ресурс для пошуку біологічних прототипів та біологічних стратегій, базу даних біологічного інтелекту, організовану за проектними та інженерними функціями.

Сучасні можливості генеративного штучного інтелекту, який здатен допомогти з опрацюванням наявної бази даних та наштовхнути дослідника на пошук ідей-прототипів.

Інформаційні технології (ІТ) відіграють дедалі важливішу роль у сфері біомімікрії. ІТ-інструменти використовуються для:

- вивчення природи – підвищення можливостей наукових досліджень;
- розробки біоміметичних продуктів, послуг та моделей;
- навчання та просвіти – завдяки захоплюючим візуалізаціям, інтерактивним онлайн-курсам та іграм, ІТ роблять вивчення біомімікрії доступним та цікавим для широкої аудиторії, надихаючи нове покоління дослідників та інноваторів;

- 3D-друк активно використовується для створення біоміметичних структур, прототипування, проектування та моделювання;

- ШІ використовується для розробки нових алгоритмів, натхнених природою;
- аналітики баз даних, опрацювання великих масивів даних про природні системи, пошук закономірності та системних зв'язків, які можна використовувати для розробки нових технологій, оптимальних природоохоронних рішень;

- співпраці, обміні знаннями та досвідом: ІТ-платформи та онлайн-спільноти полегшують співпрацю між дослідниками, інженерами та дизайнерами з усього світу, стимулюючи обмін знаннями та прискорюючи процес інновацій.

Варто зазначити, на багатьох практичних прикладах доведено, що використання еволюційного досвіду природних екосистем шляхом прототипування – це альтернативне спрямування для розробки технологій рішень, оптимізації діючих підходів та систем. У поєднанні з ІКТ біомімікрія може стати потужним інноваційним інструментом на шляху до сталого розвитку, при переході до циркулярних економічних моделей, а також дозволить розширити науковий пошук для дослідників різних галузей.

1. Шевченко Т. І. Економіка замкненого циклу: концептуалізація та розробка підходів щодо введення в дію [Електронний ресурс] / Т. І. Шевченко, І. В. Лозинська // *Сталий розвиток – XXI століття: управління, технології, моделі. Дискусії 2018: колективна монографія* / за наук. ред. проф. Є. В. Хлобистова. Київ, 2018. С. 196-205.

2. Cambridge Dictionary. URL: <https://dictionary.cambridge.org/uk/> (date of access: 16.04.2024).

3. Naden C. When nature knows best. ISO. URL: <https://www.iso.org/news/2015/05/Ref1952.html> (date of access: 06.04.2024).

4. Pathak S. Biomimicry: (Innovation Inspired by Nature). *International Journal of New Technology and Research*. 2019. Vol. 5, no. 6. URL: <https://doi.org/10.31871/ijntr.5.6.17>.

5. Aryee P. *30 Animals That Made Us Smarter: Stories of the Natural World That Inspired Human Ingenuity*. Island Press, 2022.

6. MacKinnon R. B., Oomen J., Pedersen Zari M. Promises and Presuppositions of Biomimicry. *Biomimetics*. 2020. Vol. 5, no. 3. P. 33. URL: <https://doi.org/10.3390/biomimetics5030033>

7. *Earth: the sequel: the race to reinvent energy and stop global warming*. *Choice Reviews Online*. 2008. Vol. 46, no. 02. P. 46–0892–46–0892. URL: <https://doi.org/10.5860/choice.46-0892>

8. *Biomimicry as a Sustainable Design Methodology—Introducing the ‘Biomimicry for Sustainability’ Framework* / L. Ilieva et al. *Biomimetics*. 2022. Vol. 7, no. 2. P. 37. URL: <https://doi.org/10.3390/biomimetics7020037>
9. Goldstein J., Johnson E. *Biomimicry: New Natures, New Enclosures. Theory, Culture & Society*. 2014. Vol. 32, no. 1. P. 61–81. URL: <https://doi.org/10.1177/0263276414551032> (date of access: 06.05.2024).
10. Fisch M. *The Nature of Biomimicry. Science, Technology, & Human Values*. 2017. Vol. 42, no. 5. P. 795–821. URL: <https://doi.org/10.1177/0162243916689599>
11. Mead T., Jeanrenaud S. *The elephant in the room: biomimetics and sustainability?. Bioinspired, Biomimetic and Nanobiomaterials*. 2017. Vol. 6, no. 2. P. 113–121. URL: <https://doi.org/10.1680/jbibn.16.00012> (date of access: 06.05.2024).
12. Dowie M. *Losing Ground: American Environmentalism at the Close of the Twentieth Century*. The MIT Press, 1996. 336 p.
13. StoLotusan technology. STO. URL: <https://www.europeanconsumerschoice.org/house/sto-lotusan/>.
14. Sharklet Technology Overview. Sharklet. URL: <https://www.sharklet.com/technology-overview/> (дата звернення: 01.05.2024).
15. Шевелюк К., Удовик О. Спостерігай і втілюй: 7 викликів людству, вирішених за допомогою біомімікрії. MIND. URL: <https://mind.ua/openmind/20224458-sposterigaj-i-vtilyuj-7-viklikiv-lyudstvu-virishenih-za-dopomogoyu-biomimikriyi>.
16. *Biomimicry: A Path to Sustainable Innovation* / E. Kennedy et al. *Design Issues*. 2015. Vol. 31, no. 3. P. 66–73. URL: https://doi.org/10.1162/desi_a_00339
17. Kennedy E. B., Marting T. A. *Biomimicry: Streamlining the Front End of Innovation for Environmentally Sustainable Products. Research-Technology Management*. 2016. Vol. 59, no. 4. P. 40–48. URL: <https://doi.org/10.1080/08956308.2016.1185342>
18. Удовик О. Секрети біомімікрії, або як нам навчитися інновацій у природі. *United Nations Development Programme. Україна*. URL: <https://www.undp.org/uk/ukraine/blog/sekrety-biomimikriyi-abo-yak-nam-navchytysya-innovatsiy-u-pryrodі> (дата звернення: 02.05.2024).
19. Case Studies. BIOMIMICRY TOOLBOX. URL: <https://toolbox.biomimicry.org/references/case-studies/> (дата звернення: 02.05.2024).
20. *Inspired by Nature Transformed with Technology. Nanomik Biotechnology*. URL: <https://nanomik-tech.com/> (дата звернення: 21.04.2024).
21. Hu J. C. *These self-cooled buildings were inspired by termites and frogs. FIX.Solutions Lab*. URL: <https://grist.org/fix/energy/these-self-cooled-buildings-were-inspired-by-termites-and-frogs/> (date of access: 25.04.2024).
22. *The Top Biomimicry Courses and Certificates of 2024. Learn biomimicry*. URL: <https://www.learnbiomimicry.com/blog/top-biomimicry-courses> (date of access: 02.05.2024).
23. *Biomimetics. Westphalian University of Applied Sciences*. URL: <https://www.w-hs.de/courses-fb6/biomimetics-bachelor/>.
24. Скиба В.П., Ганчук М.М., Вознюк Н.М., Ліхо О.А. Практичні приклади та переваги використання інтерактивних методів навчання при викладанні дисциплін екологічного спрямування. *Наукові записки Бердянського державного педагогічного університету. Серія: Педагогічні науки. Збірник. Вип. 1. Бердянськ, 2023. С.372-385.* <https://doi.org/10.31494/2412-9208-2023-1-1-372-385>

ЕЛЕКТРОННЕ НАУКОВЕ ВИДАННЯ

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ У СФЕРІ ЗАХИСТУ ДОВКІЛЛЯ

Колективна монографія

Опублікована за результатами Міжнародної науково-практичної конференції
«Інформаційні технології у сфері захисту довкілля»

Режим доступу: <https://science.lpnu.ua/uk/iter-2024>

Відповідальний за випуск – Ірина Ангелко

Підписано до друку 18.05.2024 р. Папір ксероксний.

Ум.др.арк. 11,27 Гарнітура «Times»

Наклад 300 прим.

Друк ПП «АРАЛ»

м. Львів вул. Козельницька, 4

