St. Cyril and St. Methodius University of Veliko Tarnovo
Faculty of Economics

ОТ ПРИРОДАТА КЪМ БИЗНЕСА – БИОНИКА И ЕКОЛОГИЧНО ПРЕДПРИЕМАЧЕСТВО

FROM NATURE TO BUSINESS — BIONICS AND ECOLOGICAL ENTREPRENEURSHIP

Юлия Пулова-Ганева
Yuliya Pulova-Ganeva

Великотърновски университет „Св. св. Кирил и Методий“
St. Cyril and St. Methodius University of Veliko Tarnovo

Abstract: The paper examines the relationship between bionics and ecological entrepreneurship as an innovative approach to achieving sustainable development. Through the study and application of natural models and processes, bionics provides effective solutions for optimizing resources, improving energy efficiency, and creating sustainable products and technologies. In the context of ecological entrepreneurship, these principles are integrated into business practices with the aim of reducing negative environmental impacts and creating long-term added value. The main areas of application are analyzed, as well as the challenges associated with implementing bionic innovations in the economy. The significance of the synergy between nature and business is highlighted as a key factor in the development of sustainable entrepreneurial models and the creation of innovative technological solutions.

Keywords: bionics; ecological entrepreneurship; sustainable development; innovation.
JEL: Q01, Q57

ВЪВЕДЕНИЕ

През последните десетилетия глобалната икономика е изправена пред нарастващ натиск, породен от климатичните промени, изчерпването на природните ресурси и необходимостта от намаляване на екологичния отпечатък на производството и потреблението. Тези процеси налагат преосмисляне на традиционните икономически модели и насочват вниманието върху необходимостта от преход към устойчиви форми на развитие, съчетаващи икономическия растеж с опазването на околната среда.

В този контекст биониката се утвърждава като иновативен подход и източник на вдъхновение за ново поколение технологии и бизнес практики. В своята хилядолетна еволюция природните екосистеми са изградили механизми за запазване на състоянието си на вътрешно равновесие, намирайки оптимални решения за ефективно използване на ресурси, адаптация и устойчивост. Съчетаването на тези природни принципи с предприемаческа инициатива очертава екологичното предприемачество като важен фактор за икономическо и социално развитие, насочен към ограничаване на негативното въздействие върху околната среда и към създаване на дългосрочна добавена стойност за обществото.

ИЗЛОЖЕНИЕ

Бионината като източник на иновации и устойчиви решения

Бионината представлява интердисциплинарно научно направление, което обединява знания от биологията, медицината, химията, математиката, инженерството, дизайна и икономиката. Това

понятие се утвърждава през 60-те г. на XX век като нова област на научното познание, основано на изучаването и използването на закономерностите в структурата, функциите, поведението и стратегиите за оцеляване на живите организми и извличане на полезни принципи и механизми, които могат да бъдат приложени за разрешаване на различни технологични проблеми в човешкото общество. (Lipov, 2010) След дълга еволюция и естетствен подбор животът на Земята е довел до огромно разнообразие от организами с уникална структура и функции, способни да се адаптират към динамично променящите се условия на природната среда. Изследвайки природните структури, механизми и процеси, биониката търси възможности за трансформиране на откритите и взаимствани от природата идеи, в приложими решения за технологичните и икономическите системи. Тя не просто изследва живата природа, а моделира живите организми създавайки бионични прототипи в техниката, архитектурата, дизайна и т.н. Този иновативен подход за имитиране на природния свят помага както за проектирането на по-ефективни, икономични и устойчиви технологични решения, така и за насърчаване на хармоничното съвместно съществуване на човека и природната среда. (Zhou et al., 2023; Dragomirescu & Iliescu, 2024; Jiang, Deng & Lin, 2024)

Бионината намира приложения в широк спектър от направления, всяко от които отразява гъвкавостта и приложимостта на еволюционно утвърдените биологични системи. Такива са например *архитектурно-строителната бионика* – насочена към прилагане на принципите и решенията, наблюдавани в живата природа, за оптимизиране на формообразуването и техническото изпълнение на сгради и съоръжения, като същевременно се постига естетическа цялост, хармония и функционалност в архитектурните форми; *техническата бионика* – анализираща природни механизми, материали и принципи на действие (например свързване на елементи, устойчивост, движение) с оглед създаване на по-ефективни, надеждни и иновативни технически системи и устройства; *невробионината* – изучаваща структурата и функционирането на нервната система (особено мозъка) с цел тяхното моделиране и прилагане в техниката. (Lipov, 2010; Sachsenmeier, 2016) Познанията за невроните и невронните мрежи, процесите на обработка, съхранение и предаване на информация в мозъка, механизмите на паметта, обучението и речта, работата на рецепторите и анализаторите позволяват разработването и моделирането на системи за разпознаване, адаптация и реагиране, създаване и развитие на технически обекти и средства за безопасност, вкл. биороботи. Свързвайки биологията на мозъка с електрониката и информационните технологии тя създава „умни“ системи като изкуствен интелект, невронни мрежи и неврокомпютри, интерфейси мозък-компютър, бионични протези и невропротези.

Бионичната архитектура изгражда структури с уникален дизайн в опит да изследва нови подходи към устойчивия дизайн, които произтичат от еволюционното развитие на живите системи, от техните материални свойства или от адаптивния им отговор на промените в околната среда. В тази връзка тя търси идеи за вдъховение от биологични материали в природата с уникални структурни и функционални характеристики (Khokhlov & Khalatur, 2004), със способности за самовъзстановяване и рециклиране (Huang et al., 2025). Класически пример е „ефектът на лотоса“, основаващ се на хидрофобната външна повърхност на листата на това растение, осигуряваща възможност за отстраняване на попаднали замърсители. Разработването на иновативни покрития с подобен ефект намалява необходимостта от почистване и използване на химикали, осигурява икономия на ресурси и ограничава негативното въздействие върху околната среда. (Naglaa, 2012; Dragomirescu & Iliescu, 2024)

Опознаването на конструкцията и механизма на формите на организмите, костите и тяхната структура, стъблата на растенията, черупки на мекотели и ракообразни, паяжинната структура и т.н. е потенциален източник за нови строителни или технологични системи, модел за подражание и създаване на уникални архитектурни решения като Олимпийския стадион „Птиче гнездо“ в Пекин, Центъра “Eastgate” в Зимбабве, Храма на Лотоса в Индия, Проект “Eden” и “The Gherkin” във Великобритания, “Turning Torso” в Швеция и много други. (Naglaa, 2012; Jiang, Deng & Lin, 2024)

С изучаването не само на структурата, но и на функциите на живите организми и тяхното имитиране се цели трансформиране на техните естествени еволюционно закрепени преимущест-

ва в технически предимства на продуктите и реализиране на продуктови иновации и развитие. Задълбоченото опознаване например на стила на плуване на рибите или летателните умения на птиците предоставя идеи за оптимизация на движението на продуктите; изследването на пътя на мравките и ехолокация на прилепите вдъхновява появата на нови интелигентни системи за контрол и взаимодействие. Сетивните възприятия на живите организми генерират иновативни проекти като навигационна система Nighthawk за безпилотни летателни апарати, взаимствана от отличните възможности за нощно виждане на бухалите; навигационните технологии за осигуряване на помощ при шофиране през нощта или при условия на ниска видимост получени от совите; безпилотни подводни апарати; ехографски апарати в медицината, технически устройства в помощ на незрящи хора основани на ехолокацията на прилепите и др. (Ding et al., 2024; Dragomirescu & Iliescu, 2024; Jiang, Deng & Lin, 2024; Yang et al., 2025)

Биониката е наука, която динамично се развива и постоянно разкрива нови хоризонти на приложение – в роботиката, в нанобиологията и наномедицината, таранспорта и логистиката, киберсигурността, космонавтиката, екологията и др. (Sachsenmeier, 2016; Dragomirescu & Iliescu, 2024; Dhiman et al., 2025; Tian et al., 2026) Интелигентни бионични структури се използват за контролирано освобождаване на лекарства, изработка на биосъвместими импланти, меки роботи, изработени от гъвкави, еластични и деформируеми материали, адаптивни сензори и разгъваеми космически конструкции. Адитивното производство и 4D печатът позволяват създаването на иновативни структури, които могат да променят формата, цвета и функциите си под въздействие на температура, светлина, магнитни и електрически полета. Използват се материали като полимери и сплави с памет за формата, хидрогелове и течнокристални еластомери, които осигуряват гъвкавост, самосглобяване и самовъзстановяване. (Li et al., 2024)

Независимо от факта, че техниката превъзхожда биологичните системи по скорост и точност, тя често отстъпва по ефективност, адаптивност и енергийна икономичност. Основавайки се на принципите на природните екосистеми като висока ефективност, енергоспестяване, адаптивност и устойчивост биониката търси нови технологични решения в подкрепа на кръгова икономиката, намираща все по-широко приложение в съвременния бизнес.

Идеята за бионична архитектура и изграждане на екологични сгради, става все по-актуална в контекста на концепцията за устойчиво разитие. Живите организми имат висока ефективност при преобразуване на енергията и посредством тяхното имитиране се проектират по-ефективни и екологични системи за нейното използване. При разрешаването на енергийни проблеми, свързани с вентилация, охлаждане и отопление се симулира поведението на насекоми и растения, имитира се капацитетът за съхранение на вода от кактусите и механизмът за пестене на вода от пустинните растения, правят се опити в пресъздаването на фотосинтезата като начин за овладяване на слънчевата енергия и превръщането ѝ в използваемо гориво, търсят се нови решения за подобряване ефективността в производството на електроенергия от слънчеви фотоволтаични панели като се изграждат модели, наподобяващи листната структура на растенията, вкл. и създаване на изкуствени фотосинтетични системи. Всички тези проекти не само подобряват ефективността на използване на енергията и намаляват негативното въздействие върху околната среда, но и демонстрират решаването на реални проблеми посредством трансформиране на съществуващи природни механизми в съвременни технологии. (Naglaa, 2012; Edwards, 2023; Jiang, Deng & Lin, 2024; Xiaoqing, Chajuan & Zhixiu, 2024; Zinchenko, 2025)

В природата функционира непрекъснат кръговрат на веществата и енергията, като природните екосистеми работят на принципа на „безотпадъчно производство“. Тези доказани и оптимизирани решения са пример за подражание за технологичното развитие, което вдъхновява компаниите да разработват модели на затворени производствени цикли; стратегии за заместване на оскъдни и стратегически ресурси; иновативни производствени концепции в рамките на производството и въвеждането на нови концепции за материалния цикъл и технологии за рециклиране. По този начин се минимизират отпадъците и се оптимизира използването на ресурси, като се цели затваряне на цикъла – *производство → консумация → повторна употреба/рециклиране.* Кръговата икономика и екологичното предприемачество са ключът към устойчиво бъдеще,

с по-малко загуби и по-добро използване на ресурсите като намалява въглеродния отпечатък и замърсяването, спестява ресурси и минимизира отпадъците, създава иновации и нови работни места, подпомага устойчивото производство и потребление.

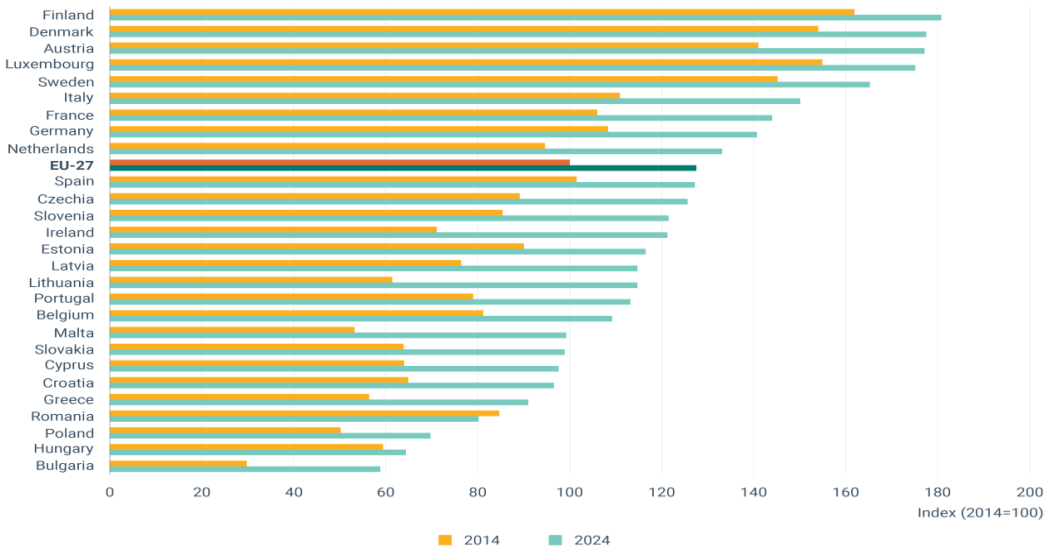
Екологичното предприемачество в контекста на кръговата икономика

Екологичното предприемачество в Европейския съюз се развива динамично под въздействието на стратегически политики като Европейската зелена сделка и Плана за възстановяване NextGenerationEU. Основна цел е преходът към климатично неутрална икономика до 2050 г., съчетан с икономически растеж и социална справедливост. Климатичните промени и влошаването на състоянието на околната среда представляват глобална заплаха за Европа и света, затова устойчивите иновации са ключови за икономическия растеж и конкурентоспособността.

Един от показателите за екологичното представяне на компаниите в Европа е Индексът за екоиновации (Eco-Innovation Index), който отразява равнището на екоиновации в държавите-членки на ЕС. Той обхваща различни аспекти на устойчивите иновации – от инвестиции и дейности до социално-икономически резултати (European Commission, 2024).

В периода 2014 – 2024 г. се констатира устойчив напредък в развитието на зелената икономика, като индексът на екоиновациите в ЕС е нарастнал с 27.5%. Сред най-добре представящите се държави са Финландия, Дания, Австрия, Люксембург и Швеция, които демонстрират високи нива на ресурсна ефективност и иновации. България се нарежда сред страните с най-ниски стойности на Eco-Innovation Index, независимо от констатираното подобрение в него от 30 (през 2014 г.) до 59 (през 2024 г.). (Фиг.1.) Страната ни остава под средното ниво на ЕС по показатели като иновационна активност, инвестиции в научноизследователска дейност и внедряване на кръгова икономика. (European Commission, 2024)

Анализът на данните на Европейската агенция по околна среда (ЕАОС) от 2025 г. показва, че в Европейския съюз преходът към кръгова икономика се осъществява с неравномерно темпо, като наред с наблюдаваните структурни подобрения, се констатират и съществени ограничения, свързани с ресурсната ефективност, потреблението на материали и управлението на отпадъците. Независимо от съществуващата нормативна рамка, реалният напредък към циклично използване на ресурсите, остава недостатъчен за постигането на дългосрочните цели на Европейския зелен пакт и климатичната неутралност до 2050 г. (European Environment Agency, 2025a)



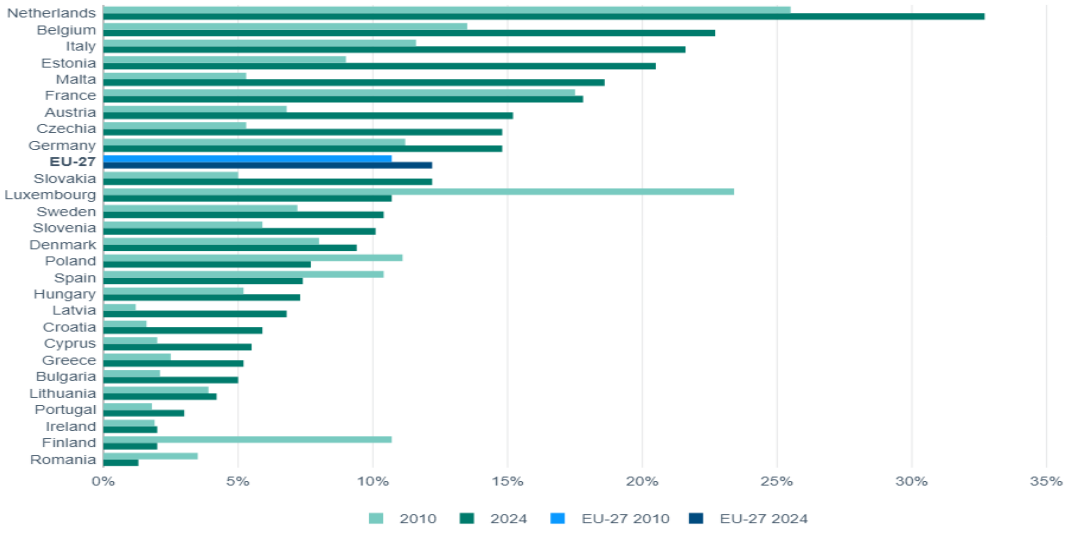
Фиг. 1. Индекс на екоиновациите по държави-членки на ЕС, 2014 – 2024 г.
Източник: European Environment Agency, 2024

ЕАОС определя кръговата икономика като модел на икономическо развитие, при който стойността на продуктите, материалите и ресурсите се запазва възможно най-дълго чрез повторна упо-

треба, ремонт, рециклиране и ограничаване на отпадъците. В този контекст основен индикатор за напредъка е „степента на кръгово използване на материалите“ (Circular Material Use Rate/CMUR), който измерва дела на вторично използваните суровини в общото материално потребление. През 2024 г. стойността на този показател за ЕС достига едва 12.2%, което показва ограничен напредък спрямо 10.7% през 2010 г., при поставена цел от 24% до 2030 г. (Фиг. 2.) Тези данни демонстрират силната зависимост на европейската икономика от първични суровини и линейни модели на производство и потребление (вземи, направи, използвай, изхвърли). Прекомерното потребление на ресурси остава съществен проблем и независимо от постигнатото в областта на рециклирането и управлението на отпадъците, количеството генерирани отпадъци и материалното потребление са високи. Това ограничава възможностите за реален преход към устойчив и ресурсно ефективен икономически модел. (European Environment Agency, 2025a)

ЕАОС констатира и положителни тенденции. В периода 2014 – 2023 г. заетостта в секторите, свързани с кръговата икономика, е нараснала с около 10%, като достига близо 4.4 млн. работни места в ЕС. В Холандия, Германия и Белгия се отчитат добри резултати в областта на рециклирането на битови отпадъци, в екодизайна и въвеждането на политики за удължаване жизнения цикъл на продуктите, посредством развитието на индустриални симбиози, системи за повторна употреба и кръгови бизнес модели. (European Environment Agency, 2025a)

Преходът към кръгова икономика в България през 2025 г. се развива с по-бавно темпо в сравнение със средното ниво за Европейския съюз. Данните на Европейската агенция по околна среда показват, че страната ни изостава спрямо средните стойности на държавите-членки по отношение на ресурсната производителност, степента на кръгово използване на материалите и развитието на вторичните пазари за суровини. Българската икономика разчита в значителна степен на ресурсоемки производства и на сектори с ниска добавена стойност. Това води до по-високо потребление на суровини на единица произведен брутен вътрешен продукт в сравнение със средното равнище за ЕС. Показателят за кръгово използване на материалите достига 5.0% през 2024 г., като е 2.4 пъти по-нисък от средно ниво за държавите-членки. (Фиг. 2.) Независимо от констатираното подобрение от 2.9% спрямо 2010 г. малка част от използваните материали в българската икономика произхождат от рециклирани и повторно използвани ресурси. (European Environment Agency, 2025b)



Фиг. 2. Кръгово използване на материали по държави-членки на ЕС, 2010 – 2024 г. (в %)
Източник: European Environment Agency, 2025

Анализът на ЕАОС за България показва напредък на страната благодарение на приемане на стратегически документи в областта на кръговата икономика, разширяване на системите за разделно събиране на отпадъци, увеличаване на рециклирането на строителни и горивни отпадъци,

ограничаване на някои пластмасови изделия за еднократна употреба и въвеждане на политики за повторна употреба и ресурсна ефективност. Темпото на преход, обаче, остава недостатъчно за изпълнение на европейските цели до 2030 г. (European Environment Agency, 2025b). Според Европейската агенция по опазване на околната сред основните предизвикателства пред прехода към кръгова икономика в държавите-членки на ЕС са високото потребление на суровини, бавното внедряване на повторна употреба и ремонт на продукти, ограниченото използване на вторични материали, зависимостта от износ на отпадъци, недостатъчните инвестиции в иновации и кръгов дизайн. (European Environment Agency, 2025a)

Резултатите от проведеното национално изследване „Зелени решения от България 2024“ разкриват наличието на значителен иновативен потенциал в сферата на зеленото предприемачество и устойчивото развитие в България. Данните показват, че 42% от зелените стартъпи и научни проекти, както и 26% от гражданските организации, разработват решения с глобален иновативен характер. Освен това 57% от представителите на малките и средни предприятия, включени в проучването, внедряват зелени иновации както в продуктовото развитие, така и в прилагането на иновативни бизнес подходи. (Bezuhanova, 2024)

Независимо от установения висок потенциал за развитие на устойчиви и конкурентоспособни решения, изследването разкрива редица структурни ограничения пред развитието на екологично ориентирания бизнес. Данните сочат, че над 87% от зелените предприемачи работят основно на вътрешния пазар; близо 70% не си сътрудничат с държавни институции, а над 40% от стартъпите разполагат с много малки екипи (около 3 души), което ограничава техния растеж. Като основни пречки пред развитието на екологичното предприемачество са изведени ограниченото финансиране, недостатъчната институционална подкрепа, слабата връзка между наука и бизнес, липсата на дългосрочни политики за зелена трансформация, трудният достъп до пазари и инвеститори. Тези структурни дефицити ограничават възможностите за разширяване и устойчиво развитие на зелените иновации, независимо от наличния предприемачески и научен потенциал. (Bezuhanova, 2024)

Съгласно стратегическите приоритети на Националната програма за развитие „България 2030“, екологичното предприемачество се разглежда като ключов фактор за осъществяването на преход към кръгова, ресурсно ефективна и нисковъглеродна икономика. Програмата поставя акцент върху необходимостта от устойчиво управление на природните ресурси, ограничаване на отпадъците и повишаване на конкурентоспособността на икономиката чрез внедряване на зелени иновации и екологосъобразни бизнес модели. (Council of Ministers, 2020)

Сред основните насоки за развитие се откроява стимулирането на екоиновациите и технологичната модернизация на предприятията посредством въвеждане на ресурсно ефективни производства, повторна употреба на материали, рециклиране и удължаване жизнения цикъл на продуктите. Съществено значение се отдава и на развитието на кръговата икономика чрез насърчаване на устойчиво производство и потребление, ограничаване на въглеродните емисии и повишаване на енергийната ефективност. (Council of Ministers, 2020)

Националната програма подчертава необходимостта от укрепване на връзката между научноизследователската дейност, образованието и бизнеса с цел ускоряване внедряването на устойчиви иновации и създаването на конкурентоспособни зелени предприятия. В този контекст се акцентира върху подобряване на достъпа до финансиране, усъвършенстване на институционалната среда и стимулиране на инвестициите в екологично ориентирани икономически дейности, особено сред малките и средните предприятия. (Council of Ministers, 2020)

Допълнително внимание се отделя на развитието на човешкия капитал и формирането на зелени умения и компетентности, необходими за адаптация към процесите на дигитална и екологична трансформация. По този начин екологичното предприемачество се определя като важен инструмент за постигане на устойчив икономически растеж, социална устойчивост и интегриране на България в европейските политики за климатична неутралност и устойчиво развитие до 2030 г. (Council of Ministers, 2020)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Бионината и екологичното предприемачество се утвърждават като значими фактори за прехода към устойчиво и ресурсно ефективно икономическо развитие в условията на задълбочаващи се екологични, климатични и ресурсни предизвикателства. Чрез адаптиране на принципи, модели и механизми от природата бионината създава възможности за разработване на иновативни технологични решения, характеризиращи се с висока енергийна ефективност, адаптивност и минимално въздействие върху околната среда. В контекста на кръговата икономика тя подпомага развитието на устойчиви производствени и бизнес модели, основани на ефективно използване на ресурсите, повторна употреба и рециклиране на материали. По този начин бионината допринася за ограничаване на отпадъците, намаляване на въглеродния отпечатък и насърчаване на устойчивото производство и потребление.

Анализът на развитието на екологичното предприемачество в Европейския съюз и България показва положителни тенденции, свързани с разширяване на екоиновациите, развитие на кръгови бизнес модели и нарастваща роля на зелените технологии. Въпреки това преходът към кръгова икономика продължава да се характеризира с неравномерно темпо и наличие на редица структурни ограничения, сред които високо потребление на суровини, ограничено използване на вторични материали и недостатъчно развити условия за устойчиво иновационно и икономическо развитие. България продължава да изостава спрямо средното европейско равнище по показатели, свързани с ресурсна ефективност, внедряване на кръгова икономика и инвестиции в устойчиви иновации. В тази връзка стратегическите приоритети на Националната програма за развитие „България 2030“ подчертават необходимостта от стимулиране на зелените иновации, подобряване на връзката между наука и бизнес и създаване на благоприятна среда за развитие на екологичното предприемачество. Реализирането на тези цели е ключово условие за постигане на устойчив икономически растеж, конкурентоспособност и екологична устойчивост.

REFERENCES

Bezuhanova, S. et al. 2024. ‘Green Solutions from Bulgaria 2024‘, viewed 15 March 2026 <https://move.bg/wp/wp-content/uploads/Green-Solutions-from-Bulgaria-2024-BG-MOVEBG.pdf>. (in Bulgarian)

Council of Ministers. 2020. ‘National Development Programme Bulgaria 2030‘, viewed 15 March 2026 <https://www.minfin.bg/bg/1394>. (in Bulgarian)

Dhiman V. et al. 2025. ‘Nanomaterials for sustainable agriculture: Plant physiology and environmental resilience’. *Physiological and Molecular Plant Pathology,* vol. 139, viewed 15 March 2026 <https://doi.org/10.1016/j.pmpp.2025.102824>.

Ding, H. et al. 2024. ‘Experimental study on navigation performance of bionic underwater vehicle inspired by sea turtle’. *Ocean Engineering,* vol. 310, no. 1, viewed 15 March 2026 <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2024.118700>.

Dragomirescu, C.-G., V. Iliescu. 2024. ‘Implementation of Methods Aimed at Sustainable Development through Bionics’. *Environmental Engineering*, vol. 13, pp. 958–966, viewed 15 March 2026 <https://landreclamationjournal.usamv.ro/pdf/2024/Art116.pdf>.

Edwards, E. 2023. ‘Bionic algae for solar hydrogen’. *Joule*, vol. 7, no. 5, pp. 855–865, viewed 15 March 2026 <https://www.cell.com/action/showPdf?pii=S2542-4351%2823%2900172-1>.

European Commission. 2024. ‘EU Eco-Innovation Index 2024’, *Publications Office of the European Union*, viewed 15 March 2026 <https://data.europa.eu/doi/10.2777/4878812>.

European Environment Agency. 2024. ‘Eco-innovation index by EU Member State, 2014-2024’, viewed 15 March 2026 <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/indicators/eco-innovation-index-8th-eap>.

European Environment Agency. 2025a. ‘Europe’s environment 2025’, *Publications Office of the European Union,* viewed 15 March 2026 <https://www.eea.europa.eu/en/europe-environment-2025>.

European Environment Agency. 2025b. ‘Europe’s environment 2025. Bulgaria’, viewed 15 March 2026 <https://www.eea.europa.eu/en/europe-environment-2025/countries/bulgaria>.

Huang, J. et al. 2025. ‘Intelligent bionics: Concepts, research and applications’. *Advanced Bionics,* vol. 1, no. 2-3, pp. 152–155, viewed 15 March 2026 <https://doi.org/10.1016/j.abs.2025.07.002>.

Jiang, M., W. Deng & H. Lin. 2024. 'Sustainability through Biomimicry: A Comprehensive Review of Bionic Design Applications'. *Biomimetics*, vol. 9, no. 9, p. 507, viewed 15 March 2026 <https://doi.org/10.3390/biomimetics9090507>.

Khokhlov, A., P. Khalatur. 2004. 'Biomimetic sequence design in functional copolymers'. *Current Opinion in Solid State and Materials Science,* vol. 8, no. 1, pp. 3-10, viewed 15 March 2026 <https://doi.org/10.1016/j.cossms.2003.08.001>.

Li, X. et al. 2024. 'Smart Bionic Structures: Connecting Nature and Technology through Additive Manufacturing'. *Additive Manufacturing Frontiers,* vol. 3, no. 2, viewed 15 March 2026 < https://doi.org/10.1016/j.amf.2024.200137>.

Lipov, A. 2010. 'In the origins of modern bionics. Biomorphological formation in an artificial environment'. *Polygnosis*, 1-2(38), vol.1-2, no. 38, pp. 126–136, viewed 15 March 2026 <https://iphras.ru/uplfile/aesthet/lipov/32_bionics2.pdf>. (in Russian)

Naglaa, A. 2012. 'Towards a Bionic Architecture in the Context of Sustainability'. *Port-Said Engineering Research Journal*, vol.16, no. 2, pp. 181–189, viewed 15 March 2026 <https://www.researchgate.net/publication/344435727_Towards_a_bionic_architecture_in_the_context_of_sustainability>.

Sachsenmeier, P. 2016. 'Industry 5.0-The Relevance and Implications of Bionics and Synthetic Biology'. *Engineering,* vol. 2, no. 2, pp. 225–229, viewed 15 March 2026 <https://doi.org/10.1016/J.ENG.2016.02.015>.

Tian, Y. et al. 2026. 'Bionic frost-resistant sodium alginate hydrogel fertilizer for sustainable agriculture, regulating nutrient release and stress tolerance in cold, arid regions'. *International Journal of Biological Macromolecules,* vol. 361, viewed 8 May 2026 <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2026.151800>.

Xiaoqing, M., L. Chajuan & L. Zhixiu. 2024. 'Research progress on functional, structural and material design of plant-inspired green bionic buildings'. *Energy and Buildings,* vol. 316, viewed 15 March 2026 <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2024.114357>.

Yang, C., X. Zhao & J. Ye. 2025. 'A Data-Driven UUVs Bionic Design Method toward Emotional and Energetic Sustainability Using AI-Based Morphological Synthesis'. *Expert Systems with Applications*, vol. 300, viewed 15 March 2026 <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2025.130499>.

Zhou, Z., S. Wang, M. Zhao & F. Zhi. 2023. 'Research on Art Design of Urban Wetland Park Planning Based on the Concept of Sustainable Development'. *Ecological Chemistry and Engineering S*, vol. 30, no. 2, pp. 175–181, viewed 15 March 2026 <https://reference-global.com/issue/ECES/30/2>.

Zinchenko, A. 2025. 'Bionics as the Foundation of Sustainable Development in Contemporary Architecture: Energy Efficiency and Synergy with the Environment'. *Modern construction and architecture*, No. 14, pp. 9–16, viewed 15 March 2026 <http://visnyk-odaba.org.ua/2025-14/14-1.pdf>.

За контакти
Юлия Пулова-Ганева, доцент, доктор
Служебен адрес: гр. Велико Търново 5000, ул. „Арх. Г. Козаров", № 1А
ВТУ „Св. св. Кирил и Методий", Стопански факултет,
Катедра „Организация и методология на социалните дейности"
Ел. поща: y.pulova@ts.uni-vt.bg