Цифрова модель мозку плодової мушки: науковий прорив нейробіології чи передчасні заяви про «цифрове безсмертя»?



Віктор БЕДЬ,
доктор богословських наук, доктор юридичних наук, професор, академік

Карпатський університет імені Августина Волошина
Ужгородська українська богословська академія

м. Ужгород, Україна
13 березня 2026 року

Анонс

У статті здійснено міждисциплінарний науково-аналітичний аналіз одного з найважливіших досягнень сучасної нейронауки — створення повної карти нейронних зв’язків мозку плодової мушки (конектому) та спроб її використання для комп’ютерної симуляції поведінки біологічного організму. Розглянуто фактичні наукові результати міжнародного дослідницького

проєкту FlyWire (реконструкція нейронних зв'язків мозку плодової мушки) та пов'язані з ними дослідження у сфері обчислювальної нейробіології.

Окрему увагу приділено науковому значенню створення цифрових моделей мозку для розвитку фундаментальних і прикладних досліджень у галузях нейронауки, біології, медицини, штучного інтелекту, робототехніки та обчислювальних наук. Показано, що подібні дослідження можуть мати важливе значення для розвитку таких медичних і міждисциплінарних напрямів, як неврологія, психіатрія, нейропсихологія, нейропсихіатрія, психологія та психоаналіз, зокрема у вивченні механізмів роботи мозку, поведінки, пам'яті, свідомості та психічних розладів.

У статті проаналізовано поширені у медійному просторі інтерпретації щодо появи «цифрового життя» та можливості перенесення людської свідомості у комп'ютерне середовище. Показано, що на сучасному етапі розвитку науки такі твердження значною мірою є спрощеними або передчасними, оскільки відтворення поведінкових реакцій нейронної системи не означає відтворення суб'єктивного досвіду або свідомості.

У дослідженні також розглянуто проблему цифрового безсмертя, філософські та наукові аспекти природи свідомості, а також потенційний вплив досліджень мозку на розвиток загального штучного інтелекту (AGI). Особливу увагу приділено цивілізаційним, етичним, соціальним і геополітичним наслідкам розвитку нейротехнологій у XXI столітті.

Зроблено висновок, що створення цифрових моделей мозку є важливим етапом розвитку сучасної науки, однак інтерпретації щодо появи цифрової свідомості або перенесення людської особистості у комп'ютер залишаються передчасними та потребують значно глибших міждисциплінарних досліджень.

Ключові слова: нейронаука, мозок, конектом, мозок плодової мушки, цифрова модель мозку, обчислювальна нейробіологія, нейротехнології, штучний інтелект, AGI, свідомість, цифрове безсмертя, нейропсихологія, неврологія, психіатрія, нейропсихіатрія, психологія, психоаналіз.

Abstract

This article presents an interdisciplinary scientific and analytical study of one of the most significant recent achievements in modern neuroscience — the creation of a complete connectome of the fruit fly brain and attempts to use it for computer simulation of biological behavior. The paper examines the factual scientific results of

the international FlyWire research project (reconstruction of neural connections in the fruit fly brain) and related studies in the field of computational neurobiology.

Particular attention is devoted to the scientific significance of digital brain models for the development of both fundamental and applied research in neuroscience, biology, medicine, artificial intelligence, robotics, and computational sciences. The study shows that such research may have important implications for a number of medical and interdisciplinary fields, including neurology, psychiatry, neuropsychology, neuropsychiatry, psychology, and psychoanalysis, particularly in the investigation of brain function, behavior, memory, consciousness, and mental disorders.

The article also critically analyzes interpretations widely circulated in the media regarding the emergence of "digital life" and the possibility of transferring human consciousness into computer environments. It is demonstrated that at the current stage of scientific development such claims remain largely speculative or premature, since the reproduction of behavioral responses in neural systems does not necessarily imply the reproduction of subjective experience or consciousness.

The study further examines the concept of digital immortality, philosophical and scientific perspectives on the nature of consciousness, and the potential influence of brain research on the development of artificial general intelligence (AGI). Particular attention is given to the civilizational, ethical, social, and geopolitical implications of emerging neurotechnologies in the twenty-first century.

The article concludes that digital brain modeling represents an important stage in the advancement of modern science; however, claims regarding the emergence of digital consciousness or the transfer of human personality into computer environments remain premature and require substantially deeper interdisciplinary research.

Keywords: neuroscience, brain connectome, fruit fly brain, digital brain model, computational neurobiology, neurotechnology, artificial intelligence, AGI, consciousness, digital immortality, neuropsychology, neurology, psychiatry, neuropsychiatry, psychology, psychoanalysis.

Вступ

Стрімкий розвиток нейробіології, штучного інтелекту та високопродуктивних обчислювальних технологій у XXI столітті привів до появи нової міждисциплінарної галузі —

обчислювальної нейронауки, що поєднує досягнення біології, медицини, інформатики, математики та когнітивних наук з метою глибшого розуміння принципів роботи мозку та створення його цифрових моделей.

Одним із найбільш значущих напрямів сучасних досліджень у цій сфері є вивчення конектому — повної карти нейронних зв'язків мозку. Саме дослідження конектому дозволяє зрозуміти, яким чином взаємодія мільярдів нейронів формує поведінку, пам'ять, мислення та свідомість.

Важливим етапом у розвитку цих досліджень стало створення повної карти нейронних зв'язків мозку плодової мушки (Drosophila melanogaster) та спроби використати ці дані для комп'ютерної симуляції поведінки біологічного організму. Хоча мозок плодової мушки значно простіший за мозок людини, він містить складну нейронну мережу, що дозволяє вивчати фундаментальні принципи функціонування нервових систем.

Подібні дослідження мають важливе значення не лише для фундаментальної нейробіології, але й для розвитку прикладних напрямів науки та медицини. Зокрема, вони можуть бути корисними для подальших досліджень у галузях неврології, психіатрії, нейропсихології, нейропсихіатрії, психології та психоаналізу, де вивчення механізмів роботи мозку є ключовим для розуміння природи психічних процесів, поведінки та різноманітних неврологічних і психічних розладів.

Водночас результати цих досліджень активно обговорюються у медійному просторі, де нерідко з'являються інтерпретації щодо появи так званого «цифрового життя» або можливості перенесення людської свідомості у комп'ютерні системи. Такі твердження потребують критичного наукового аналізу, оскільки відтворення поведінкових реакцій нейронної системи не означає відтворення суб'єктивного досвіду або свідомості.

Окрім суто наукових і технологічних аспектів, подібні дослідження порушують також фундаментальні філософські та богословсько-антропологічні питання щодо природи свідомості, особистості та меж можливого відтворення людського розуму засобами штучних систем. У християнській богословській традиції людина розглядається не лише як біологічний організм або складна нейрофізіологічна система, але й як духовно-особистісна істота, носій унікальної гідності та свободи. З цієї точки зору питання про можливість «копіювання» або «перенесення» людської свідомості у цифрове середовище виходить за межі суто технологічних дискусій і потребує міждисциплінарного осмислення, що включає нейронауку, філософію, богослов'я та когнітивні науки.

Метою цієї статті є міждисциплінарний науково-аналітичний аналіз створення цифрових моделей мозку на прикладі досліджень мозку плодової мушки, оцінка їхнього реального наукового значення, можливих практичних застосувань у різних галузях науки і медицини, а також критичний розгляд поширених у суспільстві інтерпретацій щодо перспектив цифрового безсмертя та розвитку штучного інтелекту.

Повна карта мозку плодової мушки

Міжнародний науковий проєкт FlyWire (реконструкція нейронних зв'язків мозку плодової мушки) здійснив детальну реконструкцію мозку плодової мушки, що стало одним із найбільш значущих досягнень сучасної конектоміки — напряму нейронауки, який досліджує повну карту нейронних зв'язків мозку.

Конектом мозку відображає складну мережу взаємодії нейронів, через яку передається та обробляється інформація, що лежить в основі поведінки, пам'яті та інших когнітивних процесів. Саме дослідження таких нейронних мереж дозволяє зрозуміти фундаментальні принципи функціонування нервової системи.

У межах проєкту FlyWire було створено одну з найбільш деталізованих на сьогодні карт мозку живого організму. Дослідження показало, що мозок плодової мушки містить приблизно 140 тисяч нейронів і понад 50 мільйонів синаптичних зв’язків.

Для реконструкції цієї нейронної мережі використовувалися сучасні методи серійної електронної мікроскопії, у межах яких мозкова тканина розрізалася на тисячі надтонких шарів, що дозволило отримати детальні зображення окремих нейронів і синапсів. Подальша реконструкція нейронної структури здійснювалася за допомогою алгоритмів машинного навчання та високопродуктивних обчислювальних систем.

Саме мозок плодової мушки став першим об’єктом для повної реконструкції конектому через відносно невелику кількість нейронів у порівнянні з мозком інших тварин, але водночас достатню складність його нейронної мережі для дослідження фундаментальних принципів організації нервової системи.

Таким чином, створення повної карти нейронних зв’язків мозку плодової мушки стало важливим етапом у розвитку сучасної нейронауки та відкрило нові можливості для подальших досліджень у галузі обчислювальної нейробіології та штучного інтелекту.

Комп’ютерна симуляція мозку

Після створення повного конектому дослідники використали отримані дані для побудови обчислювальної моделі мозку, яка відтворює взаємодію нейронів у цифровому середовищі.

У таких моделях кожен нейрон описується математичною системою, що імітує його електрофізіологічні властивості та механізми передачі сигналів між нейронами. У межах подібних симуляцій використовуються різні типи нейронних моделей, які

дозволяють відтворювати накопичення електричного потенціалу нейрона, його активацію та передачу сигналів через синапси.

Створена модель мозку підключається до віртуального тіла, яке взаємодіє із симульованим фізичним середовищем. У такій системі формується так званий сенсомоторний цикл, у межах якого сенсорні сигнали від віртуального середовища надходять до нейронної мережі, обробляються нею та формують відповідні моторні реакції.

У результаті подібної взаємодії модель може демонструвати поведінкові реакції, подібні до реакцій реального організму, зокрема переміщення у просторі, реакцію на сенсорні стимули, пошук їжі або уникнення небезпечних факторів.

Водночас важливо підкреслити, що йдеться саме про комп'ютерну симуляцію нейронної активності та поведінкових реакцій, а не про створення живого організму або свідомої істоти. Відтворення поведінкових патернів нейронної мережі не означає відтворення суб'єктивного досвіду, свідомості чи психічного життя.

Таким чином, сучасні моделі мозку слід розглядати передусім як науковий інструмент для дослідження принципів функціонування нервових систем та перевірки гіпотез у галузі нейронауки.

Чи можливе цифрове безсмертя: науковий аналіз

Ідея цифрового безсмертя ґрунтується на припущенні, що людську свідомість можна повністю відсканувати, відтворити та перенести у цифрове середовище. У рамках цієї концепції передбачається, що детальне відтворення структури та функціонування мозку дозволить створити цифрову модель особистості, здатну зберігати пам'ять, поведінкові реакції та інтелектуальні здібності людини.

Однак сучасна наука стикається з низкою фундаментальних проблем, які ставлять під сумнів можливість реалізації подібних ідей у найближчій перспективі.

Найважливішою з них є так звана «важка проблема свідомості» (Hard Problem of Consciousness), сформульована у сучасній філософії свідомості. Вона полягає у поясненні того, яким чином фізичні процеси у мозку породжують суб'єктивний досвід — переживання, відчуття та внутрішній світ людини.

Навіть якщо нейронна структура мозку буде відтворена з високою точністю, залишається відкритим питання, чи призведе це до появи свідомості, чи лише до моделювання поведінкових реакцій.

Іншою важливою проблемою є питання особистісної ідентичності. Якщо створюється цифрова копія мозку людини, виникає філософське питання: чи буде така копія тією самою особистістю, чи лише її інформаційним дублем. Подібна проблема розглядається у філософських мисленнєвих експериментах, зокрема у концепції телепортації, де ставиться питання про те, чи залишається особистість тією ж самою після повного копіювання її фізичної структури.

Окрім наукових і філософських аспектів, подібні питання мають також богословсько-антропологічний вимір. У християнській традиції людська особистість розглядається не лише як результат біологічних процесів, але і як духовна реальність, пов'язана з унікальною гідністю та свободою людини. З цієї точки зору проблема «копіювання» або «перенесення» людської свідомості у цифрове середовище не може розглядатися виключно як технологічне завдання і потребує ширшого міждисциплінарного осмислення.

Таким чином, на сучасному етапі розвитку науки концепція цифрового безсмертя залишається радше теоретичною гіпотезою

або футурологічною моделлю, ніж реальною технологічною можливістю.

Людський мозок як одна з найскладніших біологічних та інформаційних систем природи

Людський мозок є однією з найскладніших біологічних та інформаційних систем природи. За сучасними оцінками нейробіологів, він містить приблизно 86 мільярдів нейронів і сотні трильйонів синаптичних зв'язків. Кожен нейрон може взаємодіяти з тисячами інших нейронів, формуючи надзвичайно складну мережу обробки інформації, яка забезпечує функціонування сенсорних, моторних і когнітивних процесів, включаючи пам'ять, мислення, емоції та свідомість.

Ця нейронна мережа забезпечує широкий спектр функцій — від базових сенсорних і моторних реакцій до складних когнітивних процесів, таких як мислення, пам'ять, мовлення, емоції та свідомість.

Для порівняння, навіть найпотужніші сучасні суперкомп'ютери споживають десятки мегават електроенергії, тоді як людський мозок функціонує, використовуючи приблизно 20 ват. Таким чином, сучасні високопродуктивні обчислювальні системи потребують у сотні тисяч — понад мільйон разів більше енергії, ніж людський мозок. Таким чином, людський мозок є однією з найбільш енергоефективних відомих природних систем обробки інформації, здатною виконувати надзвичайно складні когнітивні функції при порівняно мінімальних енергетичних витратах. Водночас механізми такої ефективності та глибинні процеси, пов'язані з функціонуванням свідомості, підсвідомості та внутрішнього психічного світу людини, залишаються однією з фундаментальних і ще не повністю з'ясованих проблем сучасної науки, що перебуває на перетині нейронауки, психології, психіатрії, філософії та богословської антропології.

Саме тому дослідження мозку та закономірностей його функціонування має важливе значення не лише для фундаментальної нейробіології, але й для розвитку нових обчислювальних технологій, когнітивних наук і медицини, а також для ширшого філософського та богословсько-антропологічного осмислення природи людського розуму, свідомості й підсвідомості, психологічних і психічних переживань людини.

Такі дослідження порушують також питання, пов’язані з граничними станами людського існування, зокрема процесами відмирання біологічної функції мозку та можливими аспектами подальшого існування інформаційно-психічних процесів людської особистості після біологічної смерті тіла. У цьому контексті постає питання про можливі форми продовження або трансформації свідомості чи підсвідомих процесів поза межами біологічного функціонування мозку. На сучасному етапі розвитку науки ці проблеми залишаються відкритими і перебувають на перетині нейронауки, психології, філософії та антропології, оскільки повне розуміння природи свідомості, підсвідомості та внутрішнього психічного світу людини ще не досягнуте.

У богословському вимірі ці питання пов’язані з осмисленням особливої нематеріальної категорії — душі, яка у релігійній традиції розглядається як духовна основа людської особистості та її внутрішнього буття.

Одним із перспективних напрямів у цій сфері є створення нейроморфних обчислювальних систем, які намагаються відтворити принципи організації біологічних нейронних мереж.

Подібні дослідження можуть сприяти розвитку нових технологій штучного інтелекту, а також мати практичне значення для медицини, психології, психіатрії та нейронаук, зокрема у дослідженні неврологічних і психічних розладів, механізмів пам’яті, навчання, нейропластичності мозку, психічної регуляції поведінки та мотиваційних процесів людини.

Штучний інтелект і AGI

Дослідження мозку різних біологічних організмів — від відносно простих нервових систем комах до значно складніших мозкових структур ссавців і людини — можуть суттєво вплинути на подальший розвиток штучного інтелекту. Саме такі дослідження дозволяють поступово розкривати загальні принципи організації нейронних мереж, обробки інформації та формування поведінкових реакцій.

Сучасні системи штучного інтелекту, зокрема нейронні мережі, значною мірою були натхненні загальними принципами функціонування біологічних нейронів. Водночас вони залишаються значно спрощеними математичними моделями порівняно з реальними нейронними системами мозку живих організмів.

Глибше розуміння структури та механізмів функціонування біологічних нейронних мереж може сприяти створенню нових типів інтелектуальних систем, зокрема нейроморфних обчислювальних архітектур, що намагаються відтворити принципи організації та обробки інформації, характерні для мозку.

У цьому контексті у науковому середовищі дедалі частіше обговорюється перспектива створення так званого AGI (Artificial General Intelligence) — загального штучного інтелекту, здатного виконувати широкий спектр інтелектуальних завдань на рівні, близькому до можливостей людського інтелекту, мислення та здатності до узагальнення знань.

На відміну від сучасних вузькоспеціалізованих систем штучного інтелекту, які ефективно виконують окремі завдання, але не мають універсальної здатності до мислення, AGI передбачає створення систем, здатних до більш гнучкого навчання, узагальнення знань, адаптації до нових ситуацій та вирішення різноманітних інтелектуальних проблем.

Водночас навіть значний прогрес у розвитку штучного інтелекту не означає автоматичного відтворення людського розуму та свідомості, оскільки природа свідомості, підсвідомих процесів та внутрішнього психічного досвіду людини залишається однією з найбільш складних і недостатньо з'ясованих проблем сучасної науки.

Саме тому подальші дослідження мозку, свідомості та когнітивних процесів людини мають ключове значення не лише для розвитку штучного інтелекту, але й для глибшого розуміння природи людського мислення, психічного життя та місця людини у світі сучасних технологій.

Висновки

Створення цифрової моделі мозку плодової мушки є важливим етапом у розвитку сучасної нейронауки та обчислювальних технологій. Це досягнення демонструє можливість використання повних нейронних карт для моделювання поведінки біологічних організмів у комп'ютерному середовищі та відкриває нові перспективи для дослідження принципів функціонування нервових систем.

Водночас отримані результати не дають підстав для передчасних висновків щодо створення цифрової свідомості або можливості повного перенесення людського розуму у штучні системи. Сучасна наука все ще перебуває на початкових етапах розуміння природи свідомості, підсвідомих процесів та внутрішнього психічного досвіду людини.

Подальший розвиток досліджень у галузі нейронауки, когнітивних наук і штучного інтелекту може суттєво поглибити знання про функціонування мозку, а також сприяти створенню нових технологій обробки інформації, медицини майбутнього та інтелектуальних систем.

Водночас ці дослідження порушують ширше коло філософських, антропологічних і богословських питань, пов’язаних із природою людського розуму, свідомості та особистості. Саме тому подальше вивчення мозку та свідомості потребує міждисциплінарного підходу, що поєднує досягнення природничих наук, медицини, психології, філософії та богослов’я.

У цьому контексті дослідження мозку набувають не лише наукового і технологічного, але й ширшого цивілізаційного значення, оскільки вони сприяють глибшому розумінню людини, її природи, мислення та місця у світі сучасних технологій.

Джерела

1. FlyWire Project. Mapping the fruit fly brain connectome. Мозок FlyWire [Електронний ресурс]. — Режим доступу: https://flywire.ai – Дата доступу: 13.03.2026.
2. ABC News. Scientists map fruit fly brain in neurobiological milestone. Вчені склали карту мозку плодової мушки. Це нейробіологічна віха [Електронний ресурс]. — Режим доступу: https://www.abc.net.au/news/2024-10-03/scientists-map-fruit-fly-brain-in-neurobiological-milestone/104430502 – Дата доступу: 13.03.2026.
3. Mezha Media. Researchers simulate fruit fly brain. Як у «Матриці»: вчені помістили відсканований мозок мухи у фізичну симуляцію [Електронний ресурс]. — Режим доступу: https://mezha.ua/en/news/the-first-fly-brain-emulation-309245/ – Дата доступу: 13.03.2026.
4. Scheffer L. et al. (2020). A connectome and analysis of the adult Drosophila central brain. Конектом та аналіз центрального мозку дорослої дрозофіли [Електронний ресурс]. — Режим доступу: https://elifesciences.org/articles/57443 – Дата доступу: 13.03.2026.
5. Chalmers D. (1995). Facing Up to the Problem of Consciousness. Journal of Consciousness Studies. Зіткнувшись із проблемою свідомості [Електронний ресурс]. — Режим доступу: https://consc.net/papers/facing.html – Дата доступу: 13.03.2026.