

УДК 159.9.07:519.2:615.851

DOI 10.31654/2663-4902-2026-PP-3-317-324

Черненко В. П.

кандидат фізико-математичних наук, доцент
доцент кафедри менеджменту та інформаційних технологій
Комунального закладу вищої освіти
«Кременчуцька гуманітарно-технологічна академія» Полтавської обласної ради
chemenko.v@pu.org.ua
<https://orcid.org/0000-0002-2728-6876>

Братік О. С.

практичний психолог
aleksandr.bratik@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0001-8324-7804>

МАТЕМАТИЧНА ФОРМАЛІЗАЦІЯ ТЕРАПЕВТИЧНИХ ІНТЕРВЕНЦІЙ

У статті розглянуто проблему кількісного моделювання динаміки змін у психотерапії, орієнтованій на уяву. Обґрунтовано потребу переходу від суб'єктивної феноменології до математичних структур. Запропоновано математичну концептуально-евристичну модель психотерапевтичної інтервенції на основі апарату байєсівського оновлення. Стан пацієнта формалізовано як гаусівський імовірнісний розподіл. Визначено уявний образ як генеративну проєкцію для балансування внутрішньої невизначеності. Алгоритмізовано трансформацію досвіду через керовану «помилку передбачення», де психологічний опір параметризовано як числовий множник. Теоретично обґрунтовано, що зсув розподілу в межах моделі може відображати рівень довіри до нового стимулу. Окреслено перспективи подальшої емпіричної верифікації та розробки векторних метрик для автоматизованого відстеження терапевтичної динаміки.

Ключові слова: байєсівське оновлення, предиктивний мозок, помилка передбачення, реконсолідація пам'яті, психологічний опір, спрямована уява.

Постановка проблеми. Розвиток когнітивних наук та нейробіології характеризується незворотним парадигмальним переходом від якісної описової феноменології до строгих методів кількісної метризації та математичного моделювання. Незважаючи на цей фундаментальний зсув, традиційна психотерапія, особливо клінічні напрями, орієнтовані на глибинну роботу з уявою, продовжує спиратися переважно на емпіричний досвід та суб'єктивну інтерпретацію спеціаліста.

У цьому контексті актуалізується важливе наукове та практичне завдання – подолання розриву між точними науками та клінічною психологією шляхом теоретичного моделювання терапевтичних процесів. Головний виклик полягає у необхідності перекладу абстрактних гуманітарних конструктів, таких як «емоційний стан», «генерація образу» чи «психологічний опір», на мову чітких математичних структур, здатних до формальної статистичної обробки. Вирішення цієї проблеми відкриває перспективи для реалізації практичних завдань – створення концептуально-евристичних моделей прогнозування та розробки інструментів кількісного моніторингу ефективності психотерапевтичних інтервенцій.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Теоретичним фундаментом для такої квантифікації стала парадигма «предиктивного мозку». Базовий математичний апарат цього підходу, закладений у роботах К. Фрістона [10] та розгорнуто деталізований у монографії Т. Парра та співавторів [13], ґрунтується на принципі мінімізації вільної енергії. Систематичний огляд цієї концепції, наведений Чжаном і Сю [19], доводить, що нейронні мережі функціонують як байєсівські оптимізатори, які безперервно генерують і коригують імовірнісні моделі світу на основі нових сенсорних даних.

На базі цієї теорії швидко сформувалася обчислювальна психотерапія, що слугує надійним мостом між нейробіологією та клінічною практикою [6]. Дослідники активно застосовують апарат активного виведення для математичного моделювання психопатологій. Зокрема, імовірнісні фреймворки успішно пояснюють механізми комплексного ПТСР [15], тривожних розладів [12] та специфічних порушень інтероцепції, таких як анорексія [8]. Останні розвідки [17] розширюють цю оптику, пропонуючи механістичні моделі, де клінічні симптоми розглядаються не як дисфункції, а як спроби системи мінімізувати помилку передбачення в умовах хибних апіорних переконань. Прогрес у цій галузі додатково стимулюється розширенням фокусу на складні соціальні взаємодії [5; 16] та розробкою алгоритмічних інструментів, таких як бібліотека `srp` для Python [9], що дозволяє програмно імітувати когнітивні розлади.

У контексті безпосередньо психотерапевтичних втручань вектор досліджень зміщується до вивчення того, як нові сенсорні дані трансформують ядро особистості. М. Возняк [18] та Ф. Кухлінг із колегами [14] описують формування саморепрезентації та нейробіологічного морфогенезу виключно через алгоритми байєсівських обчислень. Важливий методологічний крок здійснив Д. Чемберлін [7], який математично змоделював механізм реконсолідації пам'яті, довівши, що для зміни глибоких переконань необхідне узгоджене збурення апіорної моделі.

У вітчизняному науковому просторі також спостерігається інтенсивна інтеграція точних математичних методів у дослідження когнітивних та поведінкових конструктів, що формує необхідний базис для переходу до алгоритмізованої терапії. Зокрема, дослідження А. Калити та О. Клименюка [2] пропонують комплексну методологію моделювання когнітивних процесів на основі системного підходу, перетворюючи ментальну діяльність на об'єкт строгих структурних розрахунків. Важливим етапом є адаптація імовірнісних обчислювальних моделей до аналізу поведінки: сучасні вітчизняні розвідки [3] безпосередньо застосовують апарат математичного моделювання для розрахунку та керування поведінковими ризиками в умовах часткової спостережуваності, що концептуально перегукується з процесами прийняття рішень та принципом мінімізації помилки передбачення. Цей перехід від описової феноменології до строгої кількісної метризації системно закріплюється й на етапі академічної підготовки: як доводить О. Вавринів у своєму дослідженні [1], поглиблене вивчення дисципліни «Математичні методи у психології» є критично необхідним інструментом для переформатування мислення майбутніх спеціалістів від суто гуманітарного до аналітично-алгоритмічного.

Водночас, незважаючи на розроблений інструментарій обчислювальної психіатрії, поза увагою дослідників залишається математична формалізація процесу спрямованої уяви. Наукова новизна дослідження полягає в концептуальному зсуві: на відміну від відомих положень предиктивного кодування, байєсівського оновлення і теорії реконсолідації пам'яті, які розглядають загальні механізми когнітивної діяльності описово або переважно на нейробіологічному рівні, у цій статті вперше пропонується безпосередня математична формалізація процесу роботи зі спонтанним уявним образом. У такій системі координат психотерапевтичне втручання перестає бути простою сугестією, а перетворюється на цілеспрямоване конструювання керованої «помилки передбачення» з метою індукції реконсолідації пам'яті.

Мета статті полягає у математичній формалізації механізмів психотерапевтичної інтервенції за допомогою апарату байєсівського оновлення. Дослідження спрямоване на переведення суб'єктивних клінічних феноменів (зокрема роботи з образами та психологічного опору) у строгі математичну формалізацію.

Методологія дослідження. Досягнення поставленої мети потребувало інтеграції концептуального апарату когнітивної психології з інструментарієм теорії ймовірностей, математичної статистики та теорії управління складними системами. Основною методологічною парадигмою дослідження обрано підхід обчислювальної психіатрії, що дозволяє концептуалізувати когнітивні та емоційні стани як імовірнісні розподіли, схильні до математичної оптимізації.

Для опису механізму генерації уявних образів та оцінювання терапевтичної пластичності застосовано алгоритми байєсівського висновку. Цей апарат дозволяє змодельовати психіку суб'єкта як ієрархічну предиктивну систему, що безперервно мінімізує інформаційну невизначеність (вільну енергію) шляхом оновлення своїх генеративних моделей.

Формалізація психотерапевтичної динаміки здійснювалася за допомогою таких математичних та методологічних конструктів.

1. Ймовірнісне моделювання станів – опис поточного психологічного стану пацієнта (його очікувань та схем) формалізовано через поняття апіорної ймовірності (*Prior*). Стан пацієнта розглядається не як детермінована величина, а як нормальний (гаусівський) розподіл із певним математичним очікуванням та дисперсією (низький рівень якої відображає високий ступінь психологічної впевненості у своїх очікуваннях).

2. Обчислення помилки передбачення – терапевтичне втручання (сугестія або введення нового елемента в уявний образ) математично описано як зовнішній сенсорний сигнал – доказ (*Evidence*). Розбіжність між *Evidence* та *Prior* змодельована як ключовий векторний показник, що ініціює зміни в системі.

3. Математична операціоналізація психологічного опору – для квантифікації абстрактного феномену «опору змінам» коефіцієнт ваги точності використовується як його математичний аналог у рівняннях оновлення. Це дозволило концептуалізувати описову категорію готовності клієнта до змін через числовий множник у межах $[0; 1]$.

4. Моделювання реконсолідації пам'яті – трансформація травматичного досвіду в результаті терапії концептуалізована як зсув ймовірнісного розподілу – перехід системи до апостеріорного стану (*Posterior*) у рамках байєсівської моделі оновлення.

Загальний дизайн дослідження має теоретико-методологічний характер і є першим етапом розробки комплексної архітектури автоматизованого відстеження терапевтичної динаміки. У подальших етапах дослідження запропонована модель може бути доповнена методами кількісної декомпозиції складного уявного образу на вектор окремих параметрів для емпіричної перевірки.

Виклад основного матеріалу дослідження. Для того щоб математично формалізувати психотерапевтичний процес, необхідно відмовитися від сприйняття образів клієнта як метафор. Образ, що виникає в уяві, в межах запропонованої евристики, може бути інтерпретовано як результат байєсівського обчислення, що описує, як психіка клієнта проєктує свій внутрішній стан на безпечний уявний простір.

1. Модель генеративного сприйняття (апіорний стан).

Будь-який досвід, з яким клієнт приходить на сесію, спирається на його глибинні переконання (схеми). Математично цей внутрішній стан до початку терапевтичного втручання описується як апіорне очікування – *Prior*.

Позначимо поточний стан клієнта на початку сесії як S_t . Відповідно до теорії ймовірностей, S_t не є статичною точкою, а являє собою нормальний (гаусівський) розподіл:

$$S_t \sim N(\mu_{Prior}, \sigma_{Prior}^2).$$

Для психотерапевта ці два математичні параметри мають чіткий клінічний зміст, а саме: математичне очікування (μ_{Prior}) – це базова установка клієнта. Наприклад, очікування небезпеки, покинутості або, навпаки, безпеки. У межах моделі μ_{Prior} дозволяє змодельовати базову установку, яка визначає, чому один клієнт уявляє сонячний луг, а інший – випалену землю; дисперсія (σ_{Prior}^2) відображає ступінь внутрішньої невизначеності. У межах запропонованої евристики низька дисперсія може інтерпретуватися як висока впевненість системи у власному прогнозі, що феноменологічно відповідає підвищеній ригідності переконання.

2. Математика інтервенції (генерація помилки передбачення).

Процес терапії розпочинається тоді, коли спеціаліст здійснює інтервенцію. У роботі з образами це може бути пропозиція: «Уявіть, що біля вашого будинку з'явився міцний паркан» або «Знайдіть джерело води». Математично терапевт вводить у систему новий сенсорний сигнал – доказ (*Evidence*), який ми позначимо як V_{in} .

Оскільки цей ресурсний образ суперечить тривожному очікуванню клієнта, у межах моделі фіксується математична розбіжність – помилка передбачення (PE):

$$PE = V_{in} - S_t. \quad (1)$$

PE дозволяє змодельовати нестикування досвіду, що концептуально відповідає головній умові для запуску нейропластичності. У межах запропонованої моделі відсутність помилки передбачення ($PE = 0$) не створює підстав для оновлення відповідного модельного параметра. Система просто підтверджує свої старі правила. Згідно з моделлю, трансформація припускає наявність помилки.

3. Вага точності (π) як математичний аналог опору.

Сама по собі наявність помилки (PE) не гарантує зміцнення. Когнітивна система клієнта функціонально «вирішує» оновити картину світу чи відкинути пропозицію. Цей процес регулюється параметром ваги точності $\pi \in [0; 1]$. У нашій моделі π виконує функцію коефіцієнта навчання, який у межах запропонованої концептуально-евристичної моделі використовується як математичний аналог готовності клієнта до змін. Тотальний опір моделюється як $\pi \rightarrow 0$. Клієнт каже: «Мій уявний паркан одразу впав» або «Вода зникла». Інформація ігнорується, помилка передбачення пригнічується. Терапевтична пластичність моделюється як $\pi \rightarrow 1$. Клієнт приймає ресурс: «Так, паркан стоїть надійно, я відчуваю спокій».

Отже, завдання терапевта зводиться не просто до генерування образів, а до створення умов (через емпатію та контейнування), за яких математичний параметр π наближається до одиниці.

4. Спрощена математична модель оновлення стану на основі помилки передбачення.

Коли клієнт приймає інтервенцію з достатньою вагою точності, відбувається оновлення стану за байєсівським принципом. Апріорна модель (*Prior*) перераховується з урахуванням нових даних (*Evidence*), формуючи оновлений стан – апостеріорну ймовірність (*Posterior*).

У дискретному часі процес терапевтичної трансформації на кроці $t+1$ може бути наближено описаний спрощеним лінійним рівнянням:

$$S_{t+1} = S_t + \pi \cdot PE. \quad (2)$$

Підставивши значення помилки передбачення (1) в (2), отримуємо розгорнуту формулу:

$$S_{t+1} = S_t + \pi \cdot (V_{in} - S_t). \quad (3)$$

Що ця формула пояснює психологу?

1. Новий стан клієнта S_{t+1} залежить від його попереднього травматичного стану S_t .

2. Зміна стану відбувається виключно через додавання зміни ($\pi \cdot PE$).

3. Якщо клієнт у глухому опорі ($\pi = 0$), рівняння зводиться до $S_{t+1} = S_t$. Реконсолідації не відбулося; стан лишився незмінним.

4. Якщо клієнт повністю довіряє процесу ($\pi = 1$), рівняння набуває вигляду $S_{t+1} = V_{in}$. У межах спрощеної моделі оновлений стан наближається до значення нового стимулу під впливом безпечного терапевтичного досвіду.

Ця математична закономірність дозволяє змодельовати психологічну реконсолідацію пам'яті як процес зсуву математичного очікування ймовірнісного розподілу, що безпосередньо керується рівнем довіри до нового ресурсного стимулу.

Запропонована математична формалізація роботи з образами, що виникають в уяві, демонструє переваги над класичними феноменологічними підходами, оскільки в межах запропонованої евристики вона окреслює шлях до подолання проблеми принципової складності кількісної операціоналізації терапевтичної динаміки та опору. У межах цієї моделі дії терапевта інтерпретуються як конструювання керованої помилки передбачення (PE) задля запуску байєсівського оновлення генеративної моделі клієнта.

Водночас впровадження такого математичного апарату вимагає критичного осмислення його меж. У науковій спільноті триває гостра дискусія щодо буквального трактування нейробіологічних процесів через призму статистичної оптимізації [4; 11].

Зокрема, М. Мангалам [11] у своїй праці справедливо вказує на «міфологізацію» байєсівського мозку, наголошуючи, що біологічні нейронні мережі навряд чи здатні здійснювати безпомилкові інтегральні обчислення апостеріорних ймовірностей у режимі реального часу.

У контексті нашого дослідження ця критика є абсолютно валідною. Ми наголошуємо, що запропонована формула (3) є не детермінованим алгоритмом роботи нейронів, а математичною евристикою – потужним концептуальним фреймворком. Ця евристика ідеально описує макродинаміку терапевтичної сесії: чому занадто радикальні інтервенції відкидаються системою, і чому довіра до нового досвіду (параметр π) є критичною для реконсолідації.

Головним обмеженням запропонованої моделі на даному етапі залишається проблема вимірювання. Значення S_t (апостеріорний стан) та V_{in} (інтервенція) визначаються шляхом експертного експрес-оцінювання психотерапевта. Для повноцінної алгоритмізації цього процесу необхідний перехід від інтуїтивного оцінювання до строгих векторних метрик, де кожен елемент уявного образу розкладатиметься на незалежні змінні з відповідними ваговими коефіцієнтами.

Висновки та перспективи подальших досліджень. У проведеному дослідженні теоретично обґрунтовано необхідність та концептуальну можливість переходу психотерапевтичної практики від описової феноменології до строгої кількісної метризації. На основі глибоко проаналізованої парадигми «предиктивного мозку» та сучасного інструментарію обчислювальної психіатрії, емоційні й когнітивні стани суб'єкта концептуалізовано як імовірнісні розподіли, що підлягають математичній оптимізації.

Запропоновано математичну формалізацію терапевтичних інтервенцій, яка змінює погляд на процеси спрямованої уяви. Обґрунтовано доцільність розгляду уявного образу як генеративної проєкції – апостеріорного очікування, тоді як саме психотерапевтичне втручання виступає в ролі зовнішнього доказу, що генерує керовану «помилку передбачення».

Запропоновано підхід, за якого динаміка психологічної реконсолідації пам'яті може бути алгоритмізована через спрощену математичну модель оновлення на основі помилки передбачення, завдяки чому абстрактна категорія «психологічного опору» успішно операціоналізована шляхом використання коефіцієнта ваги точності π як її математичного аналога. У межах моделі це припускає, що зміна стану клієнта (зсув математичного очікування ймовірнісного розподілу) може розглядатися як процес, що керується рівнем його довіри до нового ресурсного стимулу.

Водночас у дослідженні критично осмислено межі застосування розробленого апарату – запропонована математична модель на даному етапі виступає як потужна концептуальна евристика, що описує макродинаміку терапевтичної сесії, а не як детермінований алгоритм роботи біологічних нейронів.

Отримані результати мають виключно теоретико-модельний характер і є першим концептуальним кроком, що передують майбутній емпіричній перевірці ефективності запропонованого підходу. Перспективи подальших розвідок полягають у розв'язанні проблеми кількісної операціоналізації та переході від експертного оцінювання до розробки строгих векторних метрик для відстеження динаміки.

Список використаних джерел

1. Вавринів О. С. Формування критичного мислення майбутніх психологів шляхом вивчення дисципліни «математичні методи у психології». *Науковий вісник Львівського державного університету внутрішніх справ. Серія психологічна*. 2023. Вип. 1. С. 13–17. DOI: <https://doi.org/10.32782/2311-8458/2023-1-2>
2. Калита А. А., Клименюк О. В. Методологія моделювання когнітивних процесів мислемовлення і миследій людини. *Studia Philologica*. 2019. Вип. 12. С. 13–29. DOI: <https://doi.org/10.28925/2311-2425.2019.12.2>
3. Чабан О., Гладун В. Математичне моделювання керування поведінковими ризиками в умовах часткової спостережуваності. *Фізико-математичне моделювання та інформаційні технології*. 2026. Вип. 42. С. 50–57. DOI: <https://doi.org/10.15407/fmmit2026.42.050>

4. Alotaibi A. S. Predictive coding in psychopathology: mechanistic model or metaphorical re-description? *Frontiers in Human Neuroscience*. 2026. Vol. 19. Art. 1743028. DOI: <https://doi.org/10.3389/fnhum.2025.1743028>
5. Badcock P. B., Davey C. G. Active inference in psychology and psychiatry: progress to date? *Entropy*. 2024. Vol. 26, No. 10. Art. 833. DOI: <https://doi.org/10.3390/e26100833>
6. Castro Martínez J. C., Santamaría-García H. Understanding mental health through computers: An introduction to computational psychiatry. *Frontiers in Psychiatry*. 2023. Vol. 14. Art. 1092471. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpsyt.2023.1092471>
7. Chamberlin D. E. The active inference model of coherence therapy. *Frontiers in Human Neuroscience*. 2023. DOI: <https://doi.org/10.3389/fnhum.2022.955558>
8. Di Lernia D., Serino S., Cipresso P., Riva G. Mental health meets computational neuroscience: A predictive Bayesian account of the relationship between interoception and multisensory bodily illusions in anorexia nervosa. *International Journal of Clinical and Health Psychology*. 2023. Vol. 23, No. 4. Art. 100383. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijchp.2023.100383>
9. Dome L., Hezemans F. H., Kadri K., Wagner B. J., Webb A., Hauser T. U. cpm: a python library for theory-driven modelling in computational psychiatry. *PsyArXiv*. 2025. DOI: https://doi.org/10.31234/osf.io/6jc3t_v1
10. Friston K. Computational psychiatry: from synapses to sentience. *Molecular Psychiatry*. 2022. Vol. 28. P. 256–268. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41380-022-01743-z>
11. Mangalam M. The myth of the Bayesian brain. *European Journal of Applied Physiology*. 2025. Vol. 125. P. 2643–2677. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00421-025-05855-6>
12. McGovern H. T., De Foe A., Biddell H., Leptourgos P., Corlett P. R., Bandara K., Hutchinson B. T. Learned uncertainty: The free energy principle in anxiety. *Frontiers in Psychology*. 2022. Vol. 13. Art. 943785. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.943785>
13. Parr T., Pezzulo G., Friston K. J. Active inference: the free energy principle in mind, brain, and behavior. The MIT Press, 2022. DOI: <https://doi.org/10.7551/mitpress/12441.001.0001>
14. Pio-Lopez L., Kuchling F., Tung A., Pezzulo G., Levin M. Active inference, morphogenesis, and computational psychiatry. *Frontiers in Computational Neuroscience*. 2022. Vol. 16. Art. 988977. DOI: <https://doi.org/10.3389/fncom.2022.988977>
15. Putica A., Agathos J. Reconceptualizing complex posttraumatic stress disorder: A predictive processing framework for mechanisms and intervention. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*. 2024. Vol. 164. Art. 105836. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2024.105836>
16. Rhoads S. A., Gu X., Barnby J. M. Advancing computational psychiatry through a social lens. *Nature Mental Health*. 2024. Vol. 2. P. 1268–1270. DOI: <https://doi.org/10.1038/s44220-024-00343-w>
17. Shaw A. D., Sumner R. L., Berndt L. C. S. Predictive coding and neurocomputational psychiatry: a mechanistic framework for understanding mental disorders. *Frontiers in Psychiatry*. 2026. Vol. 16. Art. 1713833. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpsyt.2025.1713833>
18. Wozniak M. How to grow a self: development of self-representation in the Bayesian brain. *Frontiers in Human Neuroscience*. 2024. Vol. 18. Art. 1441931. DOI: <https://doi.org/10.3389/fnhum.2024.1441931>
19. Zhang Z., Xu F. An Overview of the free energy principle and related research. *Neural Computation*. 2024. Vol. 36, No. 5. P. 963–1021. DOI: https://doi.org/10.1162/neco_a_01642

References

1. Vavryniv, O. S. (2023). Formuvannia krytychnoho myslennia maibutnikh psykholohiv shliakhom vyvchennia dystsypliny "matematychni metody u psykholohii" [Formation of critical thinking of future psychologists through the study of the discipline "mathematical methods in psychology"]. *Naukovyi visnyk Lvivskoho derzhavnoho universytetu vnutrishnikh sprav. Seriya psykholohichna – Scientific Bulletin of Lviv State University of Internal Affairs. Psychological series*, 1, 13–17. <https://doi.org/10.32782/2311-8458/2023-1-2> [in Ukrainian].
2. Kalyta, A. A., & Klymeniuk, O. V. (2019). Metodolohiia modeliuvannia kohnityvnykh protsesiv myslmovlennia i mysledii liudyny [Methodology of modeling cognitive processes of human thought-speech and thought-actions]. *Studia Philologica*, 12, 13–29. <https://doi.org/10.28925/2311-2425.2019.12.2> [in Ukrainian].
3. Chaban, O., & Hladun, V. (2026). Matematychno modeliuvannia keruvannia povedinkovymy ryzykamy v umovakh chastkovoї sposterezhuvanosti [Mathematical modeling of behavioral risk management under conditions of partial observability]. *Fyzyko-matematychno modeliuvannia ta informatsiini tekhnolohii – Physical and mathematical modeling and information technologies*, 42, 50–57. <https://doi.org/10.15407/fmmit2026.42.050> [in Ukrainian].

4. Alotaibi, A. S. (2026). Predictive coding in psychopathology: mechanistic model or metaphorical re-description? *Frontiers in Human Neuroscience*, [19:1743028](https://doi.org/10.3389/fnhum.2025.1743028). <https://doi.org/10.3389/fnhum.2025.1743028> [in English].
5. Badcock, P. B., & Davey, C. G. (2024). Active inference in psychology and psychiatry: progress to date? *Entropy*, 26(10), 833. <https://doi.org/10.3390/e26100833> [in English].
6. Castro Martínez, J. C. & Santamaría-García, H. (2023). Understanding mental health through computers: An introduction to computational psychiatry. *Frontiers in Psychiatry*? 14:1092471. <https://doi.org/10.3389/fpsyt.2023.1092471> [in English].
7. Chamberlin, D. E. (2023). The active inference model of coherence therapy. *Frontiers in Human Neuroscience*. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2022.955558> [in English].
8. Di Lernia, D., Serino, S., Cipresso, P., & Riva, G. (2023). Mental health meets computational neuroscience: A predictive Bayesian account of the relationship between interoception and multisensory bodily illusions in anorexia nervosa. *International Journal of Clinical and Health Psychology*, 23(4), 100383. <https://doi.org/10.1016/j.ijchp.2023.100383> [in English].
9. Dome, L., Hezemans, F. H., Kadri, K., Wagner, B. J., Webb, A., & Hauser, T. U. (2025). cpm: a python library for theory-driven modelling in computational psychiatry. *PsyArXiv*. https://doi.org/10.31234/osf.io/6jc3t_v1 [in English].
10. Friston, K. (2022). Computational psychiatry: from synapses to sentence. *Molecular Psychiatry*, 28, 256–268 <https://doi.org/10.1038/s41380-022-01743-z> [in English].
11. Mangalam, M. (2025). The myth of the Bayesian brain. *European Journal of Applied Physiology*, 125, 2643–2677. <https://doi.org/10.1007/s00421-025-05855-6> [in English].
12. McGovern, H. T., De Foe, A., Biddell, H., Leptourgos, P., Corlett, P. R., Bandara, K., & Hutchinson, B. T. (2022). Learned uncertainty: The free energy principle in anxiety. *Frontiers in Psychology*. 13:943785. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.943785> [in English].
13. Parr, T., Pezzulo, G., & Friston, K. J. (2022). Active inference: the free energy principle in mind, brain, and behavior. *The MIT Press*. <https://doi.org/10.7551/mitpress/12441.001.0001> [in English].
14. Pio-Lopez, L., Kuchling, F., Tung, A., Pezzulo, G., & Levin, M. (2022). Active inference, morphogenesis, and computational psychiatry. *Frontiers in Computational Neuroscience*, 16:988977. <https://doi.org/10.3389/fncom.2022.988977> [in English].
15. Putica, A., & Agathos, J. (2024). Reconceptualizing complex posttraumatic stress disorder: A predictive processing framework for mechanisms and intervention. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 164, 105836. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2024.105836> [in English].
16. Rhoads, S. A., Gu, X. & Barnby, J. M. (2024). Advancing computational psychiatry through a social lens. *Nature Mental Health*, 2, 1268–1270. <https://doi.org/10.1038/s44220-024-00343-w> [in English].
17. Shaw, A. D., Sumner, R. L. and Berndt, L. C. S. (2026). Predictive coding and neurocomputational psychiatry: a mechanistic framework for understanding mental disorders. *Frontiers in Psychiatry*, 16:1713833. <https://doi.org/10.3389/fpsyt.2025.1713833> [in English].
18. Wozniak, M. (2024). How to grow a self: development of self-representation in the Bayesian brain. *Frontiers in Human Neuroscience*, 18:1441931. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2024.1441931> [in English].
19. Zhang, Z., & Xu, F. (2024). An Overview of the free energy principle and related research. *Neural Computation*, 36(5), 963–1021. https://doi.org/10.1162/neco_a_01642 [in English].

Chernenko V.

PhD in Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor
 Department of Management and Information Technology
 Communal Institution of Higher Education "Kremenchuk Humanitarian
 and Technological Academy" of the Poltava Regional Council
 chernenko.v@pu.org.ua
<https://orcid.org/0000-0002-2728-6876>

Bratik O.

Practical Psychologist
 aleksandr.bratik@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0001-8324-7804>

MATHEMATICAL FORMALIZATION OF THERAPEUTIC INTERVENTIONS

Relevance of the study. Reliance on subjective interpretation in guided imagery psychotherapy limits the quantitative modeling of clinical processes. Given the development of computational psychiatry and the "predictive brain" paradigm, there is an urgent need to translate abstract qualitative concepts into precise mathematical structures.

Main objective of the study. The primary objective of this study is to mathematically formalize psychotherapeutic intervention mechanisms using a conceptual and heuristic model based on Bayesian updating to transfer subjective clinical phenomena into strict statistical frameworks.

Methodology. The research integrates the conceptual apparatus of cognitive psychology with the tools of probability theory and mathematical statistics. The patient's current state is formalized not as a deterministic value, but as a probabilistic normal (Gaussian) distribution with a corresponding expected value and variance. This formulation enables the theoretical modeling of mental states and their dynamic tracking.

Results and conclusions. The study defines the guided therapeutic image as a generative projection – a Bayesian prediction balancing internal uncertainty. The conceptual and heuristic model conceptualizes psychotherapeutic intervention as Bayesian belief updating driven by sensory evidence, constructing a controlled "prediction error." Experience transformation is modeled via the Bayesian updating equation, where "psychological resistance" is parameterized as a numerical multiplier. Theoretically, the shift in probability distribution within the model can reflect the level of trust in movement toward a new stimulus. The results obtained are strictly of a theoretical-model nature, preceding future empirical testing.

Significance. The proposed model operates as a conceptual heuristic describing session macrodynamics, establishing a theoretical foundation for shifting psychotherapy from qualitative analysis to prospective quantitative modeling. It establishes a basis for vector metrics to decompose complex imagery, providing a framework for the future operationalization of therapeutic dynamics.

Keywords: Bayesian updating, predictive brain, prediction error, memory reconsolidation, psychological resistance, guided imagery.

Отримано редколегією / Received: 20.08.2026

Прорецензовано / Revised: 31.08.2026

Опубліковано / Published: 30.09.2026