

УДК 519.7:616.8

О. К. БІЛОШИЦЬКА

НЕЛІНІЙНА ДИНАМІКА ЯК ІНСТРУМЕНТ ПРОГНОЗУВАННЯ ПАТОЛОГІЧНИХ ЗМІН НА ЕЛЕКТРОЕНЦЕФАЛОГРАМІ

Розглядаються методи нелінійної динаміки аналізу діяльності електричної активності головного мозку, зокрема, при патологічних змінах. Для аналізу EEG-сигналів використовувалися метод R/S-аналізу, показник Херста та фазовий портрет. За допомогою методів нелінійної динаміки можна говорити про системні процеси, які відбуваються в головному мозку, та прогнозувати своєчасне виявлення епілептичних нападів.

Ключові слова: нелінійна динаміка, EEG, R/S-аналіз, показник Херста, фазовий портрет.

Рассматриваются методы нелинейной динамики анализа деятельности электрической активности головного мозга, в частности, при патологических изменениях. Для анализа ЭЭГ-сигналов использовались метод R/S-анализа, показатель Хёрста и фазовый портрет. С помощью методов нелинейной динамики можно говорить об системных процессах, которые происходят в головном мозге, и прогнозировать своевременное обнаружение эпилептических припадков.

Ключевые слова: нелинейная динамика, ЭЭГ, R/S-анализ, показатель Хёрста, фазовый портрет.

This article is about the application of nonlinear dynamics to the study of human brain. Paroxysmal electrical discharges periodically cause a variety of brain dysfunctions and the brain activity can be described in frame of dissipative nonlinear chaotic systems. R/S-analysis, Hurst exponent and phase portrait of the system are used to demonstrate multidimensionality of dynamical systems. This work reveals that complicated structure of the brain can be considered as deterministic nonlinear system and can be described with complex mathematical model using parameters mentioned above. The Hurst exponent (the exponent of non-linear dynamic) was counted for three periods of EEG signal (preictal, ictal and postictal). This parameter can be used for qualitative and quantitative estimation of electrical brain activity. Analyzing the phase portraits, it is shown that the complexity of EEG decreases in ictal periods compared with ictal. The results of electrical brain activity investigation will give an opportunity to improve and develop new methods of epileptical treatment, to predict and to prevent epileptical seizures that will lead to improving of life conditions and extending the life span of patients.

Keywords: nonlinear dynamics, EEG, R/S-analysis, Hurst exponent, phase portrait.

Вступ. Аналіз графіки діяльності головного мозку відіграє важливу роль при діагностиці різних захворювань мозку. Мозок складається з мільярдів клітин мозку – нейронів, які взаємодіють між собою за допомогою електричних імпульсів. Якщо велика кількість нейронів одночасно посиляє сигнали, виникає потужна електрична активність в головному мозку, яка може бути виявлена лише за допомогою чутливого медичного обладнання, таких як електроенцефалографів, який відображає графік зміни електричного рівня. Запис електроенцефалограми є потужним та важливим інструментом для вивчення функціонального стану головного мозку та для діагностики певних захворювань. Сукупність електричної активності мозку відображається у вигляді хвиль.

Метод EEG, як традиційний, застосовується при діагностиці неврологічних патологічних змін; оцінці деструктивних порушень, пов'язаних з вогнищевими процесами, особливо при дослідженні в динаміці; оцінці дифузних змін, пов'язаних з енцефалопатіями та іншими ураженнями мозку; захворюваннях, пов'язаних з порушенням рівня свідомості [1]. Зустрічається незначна кількість діагностичних помилок при використанні методу EEG в клінічній практиці.

EEG генерується механізмами, які підпорядковуються нелінійним детерміністичним законам. Існують переконливі докази, що ці процеси – хаотичні. Для пояснення динамічних процесів функцій епілептогенної області мозку потрібні реалістичні математичні моделі, а нелінійні методи можуть бути використані для пояснення періодичності епілептичних нападів.

Аналіз літературних даних та постановка проблеми. В останні роки почав розвиватися такий потужний метод аналізу електроенцефалограм з використанням динаміки нелінійних систем, як фрактальний аналіз (Г. Хакен, Ф. Takens, Р. Grassberger,

А. Babloyantz). Методи динаміки нелінійних систем дозволяють дослідити взаємодії між нейронами, їх популяціями та стани організму в цілому. Ще одним новим напрямком аналізу EEG є дослідження EEG з позицій теорії динамічного хаосу. Згідно цієї теорії EEG можна представити як хаотичний процес. За допомогою кореляційної розмірності відновленого аттрактору можна характеризувати на скільки складна система та процес, що вона відображає. [1].

EEG також можна представити у вигляді серії числових значень залежно від часу. Статистичні властивості EEG залежать від часу і простору [2]. Такі характеристики EEG, як існування граничних циклів (α -активність), швидкі явища (гістерезис), залежність амплітуди від частоти (чим менша амплітуда, тим більша частота EEG) та гармонічні частоти (наприклад, під час дослідження спалахом світла) є одними з багатьох властивостей, які властиві нелінійним системам [3]. Деякі дослідники довели, що EEG – це нелінійний сигнал з детерміністичними та, можливо, хаотичними властивостями [4]. Інші ж вказали на характерні динамічні властивості EEG відповідно специфічним нормальним та патологічним станам, такі як розумові завдання, сон, кома [5]. Тому гостро відчувається потреба в нових методах дослідження, які зможуть дати суттєвий прогрес у вивченні природи електричної активності головного мозку та її зв'язку зі структурою та функцією [1].

Однією з найбільш поширених хвороб нервової системи, що не піддається автоматичному і надійному прогнозуванню, є епілепсія. Епілепсія – це пароксизмальний та тимчасовий розлад мозкової функції, який виникає раптово, припиняється автоматично та здатний повторюватися [6]. Слід пам'ятати, що кілька спровокованих або обумовлених виразними причинами (пухлина мозку, черепно-мозкова травма) епілеп-

тичних нападів не свідчать про наявність у пацієнта епілепсії. Епілептичні напади можуть бути повторювані та непередбачувані, а також супроводжуватися міоклонічними нападами, які можуть призвести до трагічних наслідків. Дослідження електричної активності мозку для прогнозування епілептичних нападів дасть можливість удосконалити та розробити нові методики лікування епілепсії, передбачити та запобігти епілептичні напади, що достатньою мірою зможе покращити та продовжити життя хворих.

Нещодавні дослідження показали, що епілептичний напад представляє собою нелінійний хаотичний процес. Доведено, що ЕЕГ-сигнал під час незначного епілептичного нападу можна охарактеризувати низькою розмірністю хаосу. Дослідження часткового нападу скроневого походження показали наявність граничних циклів у записаних розрядах нападу з субдоральних електродів вищерозміщеного епілептичного фокусу [4]. Граничні цикли є особливістю нелінійних систем.

Найбільшим відкриттям можна вважати динамічний аналіз ЕЕГ скроневої епілепсії і саме те, що нападам передують динамічні зміни в ЕЕГ сигналах, які відбуваються протягом декількох хвилин після нападу. За декілька хвилин до початку нападу в області передньої та латеральної частині скроні (найбільш віддалених від фокусу) замикаються фази з точки зору хаосу. Це вказує на те, що за декілька хвилин до нападу області стають динамічно визначеними. Це не можна виявити шляхом візуального огляду справжнього ЕЕГ-сигналу або іншими більш традиційними методами обробки сигналів.

Ціль та задачі дослідження. Адекватну оцінку діяльності нейронної мережі головного мозку можна отримати лише за допомогою електроенцефалографічного дослідження. Використання статистичних та математичних методів сприяє зростанню інформативності ЕЕГ.

Дослідження електричної активності мозку для прогнозування епілептичних нападів дасть можливість удосконалити та розробити нові методики лікування епілепсії, передбачити та запобігти епілептичні напади, що достатньою мірою зможе покращити та продовжити життя хворих.

Матеріали та методи дослідження. Як відомо, прогнозування епілепсії за допомогою кореляційного аналізу [7] не дало високого результату. Спектральний аналіз та перетворення Фур'є дають лише усереднені показники для досліджуваного сигналу. Вейвлет-аналіз не дозволяє відрізнити епілептичну активність від артефактів різної природи. Метод візуального аналізу не дозволяє точно визначити початок епілептичної активності.

Хоч і існує багато доступних методів обробки сигналу для аналізу та класифікації ЕЕГ, нелінійним підходам аналізу електричної активності мозку приділяється багато уваги. Різноманітність методів нелінійного аналізу сигналів дозволяють краще характеризувати просторову і тимчасову динаміку епілептичних процесів в головному мозку. Діяльність мозку може бути описана в рамках дисипативних систем. Наявність детермінованого хаосу в таких систе-

мах можна встановити, визначивши будь-яку з динамічних змінних і при цьому, зокрема можна оцінити [8]:

- розмірність аттрактора, яка свідчить про багатоконтентність досліджуваної нейродинамічної системи;

- кореляційну розмірність, яка є характеристикою «складності» динамічної системи мозку;

- старший показник Ляпунова, який є характеристикою «хаотичності» поведінки динамічної системи мозку;

- кореляційну ентропію, яка показує ступінь «передбачуваності» процесів, що відбуваються в мозку;

- ентропію Колмогорова-Синяя, що характеризує швидкість втрати динамічної інформації системою, яка дозволяє оцінити проміжок часу, на якому можна зробити прогноз поведінки нейродинамічної системи;

- логістичне відображення, яке описує, як змінюється чисельність популяції нейронів з плином часу;

- показник Херста, що використовується для аналізу часових рядів складних систем, містить мінімум припущень про досліджувану систему та дозволяє ввести класифікацію часових рядів в залежності від свого значення [9].

ЕЕГ-дослідження проводилися у відділенні функціональної діагностики та ультразвукового дослідження серцево-судинної системи Консультативно-діагностичного центру Державної наукової установи «Науково-практичний центр профілактичної та клінічної медицини» Державного управління справами. Усі добровольці (здорові та хворі пацієнти) дали письмову згоду на проведення даних досліджень. Досліджувалися як дорослі особи різного віку та статі, так і діти.

Реєстрація ЕЕГ відбувалася за стандартною методикою – міжнародною схемою відведень «10-20». Дані ЕЕГ реєструвалися за допомогою 16-канального телеметричного електроенцефалографа Expert з відеомоніторингом ТОВ «Компанія Tredex» з відеомоніторингом з верхнім граничним фільтром 30 Гц, постійною часу 0,1 с та частотою дискретизації 400 Гц. Запис відбувався у 16 стандартних відведеннях з частотою дискретизації більше 400 Гц.

В цілому весь запис ЕЕГ тривав 9 хвилин. Під час реєстрації ЕЕГ проводилися основні функціональні проби: очі закриті, очі відкриті, фотостимуляція на різних частотах, гіпервентиляція. Дані проби спрямовані на дослідження функціонування головного мозку в стані спокою і при певних зовнішніх впливах [10]. Відносні зміни показників активності головного мозку при проходженні цих проб дають важливу інформацію для діагностики. Для візуальної обробки та отримання цифрових даних використовувалося програмне забезпечення ExpertNet.

Отримані дані ЕЕГ-сигналів було розділено на 3 групи: вогнищеві ураження (наприклад, епілепсія), системні ураження (наприклад, цереброваскулярні хвороби) та норма [9]. Дані по трьом групам були досліджені, разом з лікарями зроблено заключення про функціональні та морфологічні особливості динаміки ЕЕГ, про наявність та вираженість церебральних патологій.

Для прогнозування епілептиформної активності головного мозку потрібно дослідити та проаналізувати як змінюються показники ЕЕГ під час різних періодів. За певними дослідженнями можна вважати, що складність ЕЕГ менша в іктальні періоди, ніж в інтеріктальні [11].

При аналізі патологічних ЕЕГ для достовірного аналізу потрібно вважати напади незалежними подіями, для цього між нападами повинні бути достатні інтервали. Тому що при незначному інтервалі (кластерні напади) важко визначити постіктальний стан від наступного преіктального стану, оскільки точна тривалість жодного з них точно невідома.

Для систем, які не є нормально розподіленими або близькими до неї Херстом [12] був запропонований метод нормованого розмаху (R/S-аналіз). Головним чином даний метод дозволяє розрізнити випадковий і фрактальний часові ряди, а також робити висновки про наявність неперіодичних циклів, довготривалої пам'яті.

Для визначення рівня стохастичності рядів використовують так званий показник Херста.

Результати дослідження динамічних особливостей нейронної мережі головного мозку на основі ЕЕГ-даних. Так як мозок функціонує в нелінійному, хаотичному режимі (Albert et al., 1994), ЕЕГ можна розглядати як результат динамічної системи мозку, у відповідь на вплив зовнішнього та внутрішнього середовища. Система містить багато нелінійних компо-

нентів (нейрони) та має певні потенціальні ідентифікуючі параметри системи.

При закритих очах стохастичність роботи мозку в стані спокою мінімальна [3]. При реєстрації фоновій ЕЕГ з відкритими очима спостерігалася варіативна робота мозку, і, отже, ЕЕГ ставала більш стохастичною. Причиною цього є те, що сильне збільшення притоку зовнішньої інформації призводить до збільшення числа ступенів свободи у взаємодії організму з навколишнім середовищем, що неминуче знаходить відображення в діяльності мозку.

Отримані патологічні сигнали ЕЕГ (група «вогнищеві ураження») було умовно поділено на такі періоди: преіктальний (перед нападом), іктальний (напад), постіктальний (після нападу) та інтеріктальний (між нападами).

За допомогою програмного продукту, який був реалізований в програмному середовищі Matlab вдалося провести дослідження дієвості нелінійних показників при аналізі патологічних ЕЕГ-сигналів.

Використовуючи R/S-аналіз, було виокремлено візуально ділянки різних «стрибків» активностей та показано, що показник Херста не має різких змін значень при відсутності епілептичної активності. Значення показника Херста починає зростати при настанні епілептичної активності та зменшується після закінчення мозкової активності, що свідчить про припинення нападу (рис. 1).

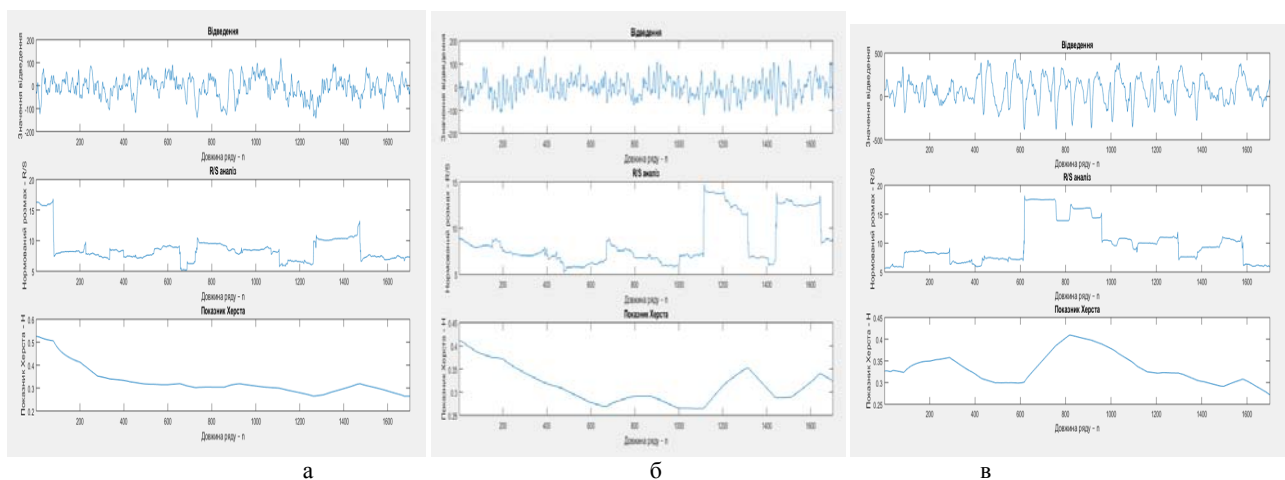


Рис. 1 – Результати R/S-аналізу: а – 10-секундний запис відведення Т3 пацієнта А при реєстрації нормальної ЕЕГ; б – 10-секундний запис відведення F4 пацієнта Б при помірній роздратованості серединних структур головного мозку під час гіпервентиляції; в – 10-секундний запис відведення F7 пацієнта В під час патологічної активності

У випадку динамічного режиму з загостренням після ділянки низькоамплітудних, достатньо складних коливань сигналу настає режим високоамплітудних, більш простих по складу коливань, які потім після певної кількості ітерацій знову змінюються ділянкою

коливань низької амплітуди. У результаті аналізу ЕЕГ для груп «норма», «вогнищеві ураження» та «системні ураження» встановлені такі значення показника Херста (табл. 1):

Таблиця 1 – Показник Херста

Функціональна проба	Норма	Системні ураження	Вогнищеві ураження
Очі відкриті	0.212...0.245	0.312...0.345	0.412...0.445
Очі закриті	0.225...0.234	0.325...0.334	0.344...0.434
Гіпервентиляція	0.216...0.228	0.346...0.358	0.356...0.428
Фотостимуляція	0.208...0.213	0.348...0.367	0.358...0.432

За даними табл. 1 можна сказати, що:

- для нормальної активності характерне зосередження значення показника Херста близько $H \sim 0,25$;
- при помірній роздратованості серединних структур головного мозку характерне підвищення значення показника Херста до $H \sim 0,37$;
- для патологічної активності характерне підвищення значення показника Херста до $H \sim 0,44$.

Для умовно здорових ділянок ЕЕГ людини значення показника Херста нижче, що говорить про більшу ступінь хаотичності сигналу для мозку за нормальної активності. При цьому найбільш високі значення показник приймає в тих областях мозку, де більш виражені системні порушення. Також високі

значення спостерігались за зорової активності, фотостимуляції, гіпервентиляції, а мінімальні – при функціональній пробі «закриті очі».

Також для відображення динамічної поведінки багатомірної системи, потрібно створити фазовий портрет системи (аттрактор). Аттрактор створюється шляхом обробки кожної залежної змінної системи від часу у вигляді вектора. Геометричні властивості аттракторів представляють інформацію про глобальний стан системи.

З отриманих даних бачимо (рис. 2), що фазовий портрет має хаотичний характер у стані спокою, він не містить впорядкованостей, як під час патології.

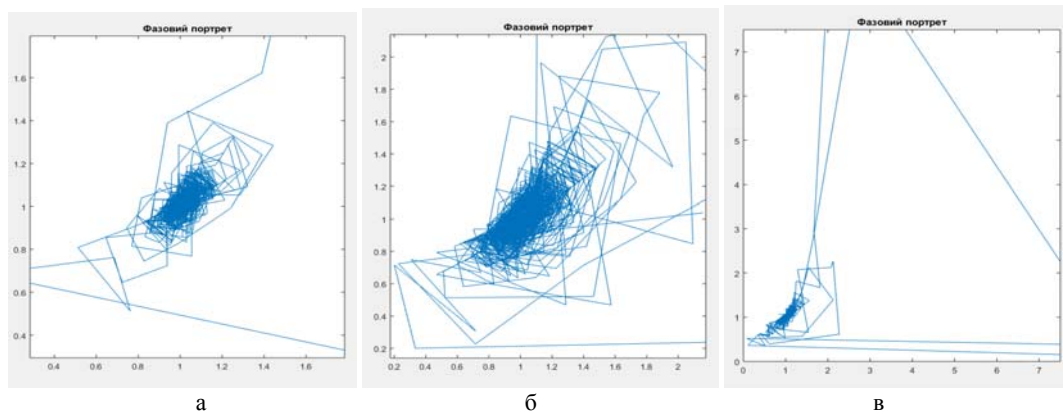


Рис. 2 – Фазовий портрет: а – у стані спокою; б – при епілептичному нападі; в – при системних ураженнях

Аттрактор відображає значну регулярність записів ЕЕГ пацієнтів під час епілептичного нападу, ніж в ЕЕГ здорових людей, а також свідчить про те, що нейрофізіологічна «епілептична» система, яка утворюється при епілепсії, стає менш складною та ще більше спрощується під час нападу (абсансу).

На основі результатів роботи програмного продукту можна робити попередні висновки щодо прогнозування патологічних активностей на ЕЕГ.

Обговорення результатів дослідження динамічних особливостей нейронної мережі головного мозку. Проведений аналіз дозволив визначити середні значення показника Херста. Виходячи з отриманих результатів, можна вважати, що предиктором нападу може бути постійне збільшення синхронізації ЕЕГ, яке можна спостерігати за збільшенням значення показника Херста перед нападом.

Дослідження різних типів сигналів показали, що чим складніший аттрактор системи, тим людина знаходиться в більш спокійнішому і здоровішому стані, а на ЕЕГ реєструється нормальна мозкова активність. Для патології характерна впорядкованість та наявність додаткових петель аттрактора.

Висновки. ЕЕГ відображає поведінку складної динамічної системи з хаотичним характером сигналів, тому застосування лінійних методів аналізу ЕЕГ є малоефективним. Під час реєстрації патологічної активності на ЕЕГ відмічається зниження складності сигналу, що призводить до зниження хаосу в сигналі. Тому для оцінки таких змін застосовуються методи

нелінійної динаміки та теорія хаосу. Спрогнозований початок епілептичного нападу, його тривалість та закінчення дадуть змогу лікарям контролювати форму захворювання.

Увага до проблеми завчасного визначення епілептичних нападів обґрунтовано істотною кількістю пацієнтів, що страждають неконтрольованою формою захворювання, яка нерідко супроводжується моторними судомами і втратою свідомості.

Таким чином, аналізуючи електроенцефалограму методами нелінійної динаміки, зокрема, обчислюючи показник Херста та будуючи фазові портрети системи, ми можемо говорити про системні процеси, які відбуваються в головному мозку, та прогнозувати своєчасне виявлення епілептичних нападів.

Подальше дослідження особливостей взаємної динаміки ЕЕГ-сигналів, а також ефектів частотно-фазової синхронізації, як прояви певних співвідношень між характерними частотами і фазами збуджень у функціонуванні мозку як цілісної системи, виглядає вельми перспективним. Пошук діагностичних ознак психічних розладів на основі виявлення змін в характері динаміки як окремих ЕЕГ, так і перехресних кореляцій між сигналами різних комбінацій електродів, сприятимуть розробці принципів діагностики, в тому числі попереджувальної, ряду психічних відхилень.

Список літератури:

1. Білошицька, О. К. Використання методів нелінійної динаміки та клітинно-автоматного моделювання для дослідження динамічних особливостей нейронної мережі головного мозку [Текст] / О. К. Білошицька // Проблема інформаційних технологій. – 2015. – № 1 (17). – С. 173–180.

2. Меклер, А. А. Программный комплекс для анализа электроэнцефалограмм методами теории динамического хаоса [Текст]: дис. ... канд. техн. наук [Текст] / А. А. Меклер. – Санкт-Петербург, 2006. – 168 с.
 3. Аристов, А. В. Фрактальный анализ электрической активности головного мозга при генерализованной эпилепсии [Текст]: дис. ... канд. биол. наук / А. В. Аристов. – Москва, 2010. – 156 с.
 4. Tsoutsouras, V. Simulation of healthy and epileptiform brain activity using cellular automata [Text] / V. Tsoutsouras, G. Ch. Sirakoulis, G. P. Pavlos, A. C. Iliopoulos // International Journal of Bifurcation and Chaos. – 2012. – Vol. 22, No. 9. – P. 23–36. doi: [10.1142/s021812741250229x](https://doi.org/10.1142/s021812741250229x)
 5. Acedo, L. A cellular automaton model for collective neural dynamics [Text] / L. Acedo // Mathematical and Computer Modelling. – 2009. – № 50 (5-6). – P. 717–725. doi: [10.1016/j.mcm.2008.12.018](https://doi.org/10.1016/j.mcm.2008.12.018)
 6. Гнездицкий, В. В. Обратная задача ЭЭГ и клиническая электроэнцефалография (картирование и локализация источников электрической активности мозга) [Текст] / В. В. Гнездицкий. – Москва: «МЕДпресс-информ», 2004. – 624 с.
 7. Mirowski, P. Classification of patterns of EEG synchronization for seizure prediction [Text] / P. Mirowski, D. Madhavan, Y. LeCun, R. Kuzniecky // Clinical Neurophysiology. – 2009. – № 120 (11). – P. 1927–1940. doi: [10.1016/j.clinph.2009.09.002](https://doi.org/10.1016/j.clinph.2009.09.002)
 8. Майоров, О. Ю. Исследование биоэлектрической активности мозга с позиций многомерного линейного и нелинейного анализа ЭЭГ [Текст] / О. Ю. Майоров, В. Н. Фенченко // Клиническая информатика и телемедицина. – 2008. – Т. 4, № 5. – С. 12–20.
 9. Белошицкая, О. К. Исследование поведения нейронной сети головного мозга при различных патологиях с помощью методов нелинейной динамики [Текст]: мат. 17-й Межд. научно-техн. конф. / О. К. Белошицкая // Системный анализ и информационные технологии, 2015. – С. 48–49.
 10. Доля, В. К. Вплив інформаційного навантаження на параметри основної діяльності водіїв (збуджувальні процеси) [Текст] / В. К. Доля, І. П. Енглезі, І. А. Афанасьєва // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2011. – № 1/2 (49). – С. 65–68. – Режим доступу: <http://journals.urau.ua/eejet/article/view/1887/1782>
 11. Nicolaou, N. Detection of epileptic electroencephalogram based on Permutation Entropy and Support Vector Machines [Text] / N. Nicolaou, J. Georgiou // Expert Systems with Applications. – 2012. – № 39 (1). – P. 202–209. doi: [10.1016/j.eswa.2011.07.008](https://doi.org/10.1016/j.eswa.2011.07.008)
 12. Малинецкий, Г. Г. Современные проблемы нелинейной динамики [Текст] / Г. Г. Малинецкий, А. Б. Потопов. – Москва, 2002. – 360 с.
1. Biloshytska, O. K. (2015). Vykorystannia metodiv nelineinoy dynamiky ta klitynno-avtomatnoho modelivannia dlia doslidzhennia dynamichnykh osoblyvosti neuronnoy mrezhki holovnoho mozku. Problemy informatsiynykh tekhnolohii, 1 (17), 173–180.
 2. Mekler, A. A. (2006). Programmyj kompleks dlja analiza jelektroencefalogramm metodami teorii dinamicheskogo haosa. Saint Petersburg, 168.
 3. Aristov, A. V. (2010). Fraktal'nyj analiz jelektricheskoy aktivnosti golovnoho mozga pri generalizovannoj jepilepsii. Moscow, 156.
 4. Tsoutsouras, V., Sirakoulis, G. Ch., Pavlos, G. P. Iliopoulos, A. C. (2012). Simulation of healthy and epileptiform brain activity using cellular automata. International Journal of Bifurcation and Chaos, 22 (9), 23–36. doi: [10.1142/s021812741250229x](https://doi.org/10.1142/s021812741250229x)
 5. Acedo, L. (2009). A cellular automaton model for collective neural dynamics. Mathematical and Computer Modelling, 50 (5-6), 717–725. doi: [10.1016/j.mcm.2008.12.018](https://doi.org/10.1016/j.mcm.2008.12.018)
 6. Gnezdickij, V. V. (2004). Obratnaja zadacha JeJeG i klinicheskaja jelektroencefalografija (kartirovanie i lokalizacija istochnikov jelektricheskoy aktivnosti mozga). Moscow: «MEDpress-inform», 624.
 7. Mirowski, P., Madhavan, D., LeCun, Y., Kuzniecky, R. (2009). Classification of patterns of EEG synchronization for seizure prediction. Clinical Neurophysiology, 120 (11), 1927–1940. doi: [10.1016/j.clinph.2009.09.002](https://doi.org/10.1016/j.clinph.2009.09.002)
 8. Majorov, O. Ju., Fenchenko, V. N. (2008). Issledovanie bioelektricheskoy aktivnosti mozga s pozicij mnogorazmernogo linejnogo i nelinejnogo analiza JeJeG. Klinicheskaja informatika i telemedicina, 4 (5) 12–20.
 9. Beloshickaja, O. K. (2015). Issledovanie povedenija neuronnoj seti golovnoho mozga pri razlichnyh patologijah s pomoshh'ju metodov nelinejnoy dinamiki. Sistemnyj analiz i informacionnye tehnologi, 48–49.
 10. Dolia, V. K., Enhlezi, I. P., Afanasieva, I. A. (2011). Vplyv informatsiinoho navantazhennia na parametry osnovnoi diialnosti vodiiv (zbudzhualni protsesy). Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 1 (2 (49)), 65–68. Available at: <http://journals.urau.ua/eejet/article/view/1887/1782>
 11. Nicolaou, N., Georgiou, J. (2012). Detection of epileptic electroencephalogram based on Permutation Entropy and Support Vector Machines. Expert Systems with Applications, 39 (1), 202–209. doi: [10.1016/j.eswa.2011.07.008](https://doi.org/10.1016/j.eswa.2011.07.008)
 12. Malineckij, G. G., Potapov, A. B. (2002). Sovremennye problemy nelinejnoy dinamiki. Moscow, 360.

Надійшла (received) 30.11.2016

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Нелінійна динаміка як інструмент прогнозування патологічних змін на електроенцефалограмі/ О. К. Білошицька// Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2016. – No 50(1222). – С.79–83. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

Нелинейная динамика как инструмент прогнозирования патологических изменений на электроэнцефалограмме/ О. К. Белошицкая// Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2016. – No 50(1222). – С.79–83. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

Nonlinear Dynamics as Instruments for Prediction of Pathological Changes in the Electroencephalogram/ О. Biloshytska//Bulletin of NTU “KhPI”. Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2016. – No 50 (1222).– P.79–83. – Bibliogr.: 10. – ISSN 2079-5459.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Білошицька Оксана Костянтинівна – асистент, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», асистент кафедри біомедичної інженерії; пр. Перемоги, 37, м. Київ, Україна, 03056; e-mail: o.biloshytska@kpi.ua.

Белошицкая Оксана Константиновна – асистент, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского», ассистент кафедры биомедицинской инженерии; пр. Победы, 37, Киев, Украина, 03056; e-mail: o.biloshytska@kpi.ua.

Biloshytska Oksana – assistant, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», assistant of department of Biomedical Engineering; Peremogy ave., 37, Kyiv, Ukraine, 03056