

АНОТАЦІЯ

Мудрик І.Я. Автоматизовані системи діагностування стану пацієнтів, хворих на есенціальний тремор. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 121 - Інженерія програмного забезпечення. - Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Тернопіль, 2021.

Підготовка здійснювалась на кафедрі програмної інженерії Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя Міністерства освіти і науки України.

Дисертаційна робота є комплексним дослідженням теоретичних та практичних проблем, присвячених автоматизації процесів діагностування стану пацієнтів з проявами есенціального тремору кінцівок. Сучасна розробка є актуальною для медичних закладів та лабораторій, що займаються проблемами невралгічного характеру: тремтіння кінцівок, есенціального тремору, хвороби Паркінсона та інші.

Метою дисертаційної роботи є розробка апаратно-програмного комплексу для технології автоматизованої діагностики захворювання есенціальний тремор, в якій використовуються досліджувані методи математичного та комп'ютеризованого моделювання для обробки вхідної інформації (даних) згідно розроблених математичних моделей та програмованих алгоритмів. Бібліотека алгоритмів та прикладне програмне забезпечення можуть бути використані для побудови комп'ютерних моделей і візуалізації результатів, пришвидшення та забезпечення зручності виконання досліджень, порівняння результатів, оцінки стану пацієнтів.

У вступі обґрунтовано актуальність дослідження, наведено зв'язок роботи з науково-дослідними темами, встановлено мету та визначені завдання дослідження, об'єкт та предмет дослідження, наведено перелік методів дослідження, що застосовувались для досягнення мети розробки. Сформульовано наукову новизну, практичне значення отриманих результатів та особистий внесок здобувача в дослідження моделей та технологій, а також

реалізацію прикладного програмного забезпечення. Подано відомості щодо апробації та опублікування результатів дослідження та їх практичне значення.

У першому розділі зроблено огляд існуючих рішень та праць за темою дисертації, проаналізовано сучасні клінічні методи та способи діагностування станів пацієнтів з проявами тремору кінцівок. Проаналізовано сучасний підхід науки до способів та технологій визначення параметрів коливних рухів, що супроводжують тремтіння кінцівок в різних клінічних проявах. У випадку комп'ютеризованого тесту ідеальним варіантом є спіраль Архімеда, і саме вона забезпечує рівномірний поступальний рух із симетричним збільшенням амплітуди відхилення від центра.

Важливим науковим елементом роботи є дослідження нейро-біо-систем зі зворотнім зв'язком, пов'язаних з аналізом стану та поведінки пацієнтів з ознаками тремору (Т-об'єкти) під когнітивним впливом нейронних вузлів кори головного мозку.

Для більш ґрунтовного підходу до дослідження та реалізації необхідних методів було розглянуто основні параметри системи, досліджено експериментальні дані та суміжні розробки, проаналізовано існуючі ефективні методи ідентифікації захворювання тремор, переваги та недоліки кожної з них.

В результаті аналізу предметної області було вирішено, що рішення на повинне становити собою бібліотеку програмних засобів для інтеграції реалізованих класів алгоритмів та моделей в комплексну систему діагностування. Також за завдання даної розробки поставлено розробити механізм тестування та відлагодження розроблюваної методики аналізу даних спіралі. В якості реалізації останнього поставленого завдання може виступати комп'ютеризована модель, виконана в пакеті розробки MatLab, та моделює поведінку необхідних алгоритмів та математичних моделей за реальних умов використання. В роботі імплементовано елементи машинного навчання – для визначення та уточнення оцінювання стану пацієнта згідно великої кількості записів.

Проведено аналіз предметної області, виявлено складові, характеристики та методи опрацювання даних, що потрібно розглянути.

У другому розділі описано моделі сигналів, отриманих в якості вхідних даних для опрацювання (рисунок пацієнта тесту спіралі Архімеда), проаналізовано точність та ефективність методів комп'ютеризованого аналізу ступеню тремору. Описано основні результати моделювання, отримані частотні характеристики, амплітуди коливання, відхилення від норми та інші показники.

З допомогою методики ідентифікації тремтіння малюнком спіралі розроблено технологію оцінювання стану пацієнтів клінік та медичних центрів. Гібридна модель аналізу аномальних станів Т-об'єктів побудована на основі теорії поширення хвильового сигналу визначає посегментний опис 3D-елементів траєкторій АНР досліджуваного Т-об'єкту (кінцівки пацієнта) з урахуванням матриці когнітивних впливів груп нейро-вузлів КГР на сегменти руху. В основу реалізації нами покладено спосіб безперервного визначення позиції кінцівки руки пацієнта, що з допомогою електронного пера відтворює рисунок шаблону у вигляді спіралі Архімеда на екрані інтерактивного планшета. Просторове 3D-відхилення траєкторії руху пера від шаблону має складну форму і є цифровою інформацією для визначення стану захворювання пацієнта. З метою декомпозиції складних АНР-рухів на простіші елементи, кількість розбиття може вибиратись довільною в залежності від складності АНР-зображення. Модель передбачає отримання кількісних амплітудних і частотних характеристик АНР.

В якості когнітивних feedback-впливів системи використовуються набори показників сигналів електроенцефалограм (EEG), які синхронно з рухом Т-об'єкта поступають від визначеної множини нейровузлів КГМ, що здійснюють керування АНР-рухом. EEG сигнали в цілому визначають динаміку АНР для кожного j -го сегменту траси рисунку пацієнта (спіраль Архімеда), $j = \overline{1, n_1 + 1}$, де n_1 - кількість точок розбиття АНР-траси.

На основі проведеного аналізу визначено наукове завдання, яке полягає у розробці прикладного програмного забезпечення, яке б реалізовувало математичні моделі, застосовувані при аналізі сигналів рухів пацієнтів при діагностуванні есенціального тремору.

Третій розділ присвячено проектуванню, розробці та тестуванню програмного забезпечення комплексу. Так, першочергово визначено потреби користувачів, функціональні та нефункціональні вимоги до програмного забезпечення, способи тестування та перевірки валідності застосовуваних алгоритмів на практиці для використання програмно-апаратного комплексу в діагностичних центрах.

Також, описано вибір апаратної частини та технічних рішень комплексу для взаємодії пацієнта з системою. Описано користувацькі інтерфейси та можливості відповідно до функціональних вимог, поставлених перед системою.

Система для збору і аналізу спіральних малюнків складається з комп'ютера, інтерактивного перового планшета для цифрового збору сигналу з допомогою спеціального дистанційного пера. Завдання пацієнта – намалювати спіраль Архімеда на планшеті. Спірографія забезпечує різні кількісні параметри. Крім спектрального аналізу отриманого сигналу, який надає інформацію про частоту тремору, зазвичай використовується також радіус кута перетворення і швидкість часу перетворення. Радіус кута трансформації зображує зміни радіуса залежно від зміни кута спірального малюнка. Лінійні і кутові прискорення перетворення обчислюється системою.

Архітектурне рішення щодо розробки ПЗ ґрунтувалося на об'єктному підході. Також було обрано мову Java для розробки програми. Виконуючи проектування розроблюваної системи з врахуванням об'єктно-орієнтованого підходу до виконання, вірним рішенням є аналіз основних класів та сутностей системи.

Важливі елементи розробки – це алгоритми отримання значень параметрів модельованої системи, можливість візуального представлення отриманих результатів, необхідність динамічного задання параметрів системи. Все це дозволяє з більшою наочністю представляти результати та сприяє цільовому використанню технології. Для подальшого розвитку тремографії як методу діагностики, потрібно розвивати як теоретичну базу знань і діагностичних ознак так і практичні розробки в реалізації різних типів датчиків і програмно-апаратних комплексів для обробки отриманих даних з датчиків.

Описано алгоритми та найважливіші патерни, підходи до розробки програмного коду. Проаналізовано та обґрунтовано відповідність стандартам ISO, що описують якісні характеристики продукту (software quality), процес тестування та оцінювання результатів розробки, вибір моделі життєвого циклу розробки ПЗ. В основі реалізації – підхід з використанням сучасних архітектурних рішень та методик покращення процесів розробки та впровадження програмних комплексів. Описано методи та програмні засоби, використані при виконанні розробки системи: мова програмування Java та її бібліотеки, середовище розробки NetBeans IDE, середовище розробки та моделювання MatLab, методологію гнучкої (Agile) розробки програмного забезпечення, об'єктно-орієнтований підхід до проектування та реалізації прикладного ПЗ.

У четвертому розділі описано результати розробки, тестування та впровадження системи автоматизації процесу діагностування. Описано спроектовані та реалізовані програмні бібліотеки, що містить набір методів та алгоритмів для дослідження характеристик тремтіння. Наведено опис основних можливостей обчислення параметрів та функцій моделі. З метою перевірки вірності застосованих математичних моделей, точності отриманих результатів та загальної ефективності розроблюваної методики було розроблено модель для тестування та відлагодження методики ідентифікації параметрів системи, що використовує рисунок спіралі пацієнта в якості вхідних даних. В результаті розробки даного ПЗ реалізовано користувацький інтерфейс та можливості для взаємодії та демонстрації роботи продукту з побудови моделей.

Архітектура модель проектованої системи відповідає стилю монолітного застосунку (Monolithic application) з використанням розділення алгоритмічної частини побудови моделей та частини представлення інформації візуально та у вигляді результатів. Перша частина становить бібліотеку з набором класів та методів обробки даних, друга ж відповідає за представлення цих даних користувачеві. Це досягається важливими засобами ООП: наслідуванням, поліморфізмом та інкапсуляцією.

Розроблювана методика тестування реалізована у вигляді комп'ютеризованої системи аналізу даних спіралей. Використано програмні рішення для побудови, компіляції та тестування програми SpiralAnalyser.

Наукова новизна отриманих результатів:

1) Обрано основні технології для реалізації прикладного програмного забезпечення системи діагностування, спроектовано архітектурні рішення розробки ПЗ; З допомогою методики ідентифікації тремтіння малюнком спіралі розроблено технологію оцінювання стану пацієнтів клінік та медичних центрів.

2) Розроблено систему аналізу неврологічних рухів згідно встановлених шаблонів. Зібрано базу записів пацієнтів та діагностичних даних для досліджень. Зібрано та валідовано набори накопичених даних для аналізу застосовуваності моделей . Побудовано модель аналізу даних;

3) Спроектовано архітектуру та склад програмно-апаратного комплексу. Обдумано та обґрунтовано спосіб отримання діагностичних даних, що найбільш доцільно використовувати в реальних умовах. Реалізувано програмно-апаратний комплекс для здійснення діагностичних тестів

Результатом роботи є набір математичних моделей та комп'ютеризованих методів обробки вхідної інформації з тесту спіралі з можливістю отримати кількісні та якісні характеристики тремору, діагностичні дані треморографії пацієнта. У вигляді модуля програмної системи реалізована бібліотека з набором алгоритмів для автоматизованого визначення ступеню захворювання на есенціальний тремор. Системний комплекс, що використовує дану реалізацію методики тестування з допомогою спіралі, впроваджено та успішно апробовано в експериментальній лабораторії Інституту головного та спинного мозку ICM (Франція).

Ключові слова: комп'ютерне моделювання, діагностика, тремор, автоматизація, проектування та розробка, математична модель, алгоритми, когнітивні зв'язки, багатопараметрична ідентифікація, програмно-апаратний комплекс, спеціалізоване програмне забезпечення.

SUMMARY

Program system of automated diagnostics of patients with essential tremor disease– qualifying scientific work on the rights of the manuscript – by PhD-student *Ivan Mudryk*.

Thesis on competition of a scientific degree of PhD (Philosophy Doctor) on a specialty 121 “Software engineering”.- Ternopil Ivan Puluj National Technical University, Ternopil, 2021.

The thesis is a complex research of theoretical and practical problems on automation processes diagnosis of patients with essential tremor symptoms of limbs. Modern development is important for health care facilities and laboratories dealing with neuralgic character limb tremor, essential tremor, Parkinson's disease and others.

The purpose of the dissertation is to develop a hardware-software complex for the technology of automated diagnosis of essential tremor, which uses studied methods of mathematics and computer modeling for processing input information (data) by developed models and programmed algorithms. Library of algorithms and application software can be used to construct computer models and visualization, comfort and speed up execution of studies comparing the results evaluation.

In the introduction of research shows the relationship of work with research topics defined of goals set and objectives of the study, object and purpose of the study, a summary of research methods that were used to achieve the goal of development. The scientific novelty, practical significance of the obtained results and personal contribution of the applicant in the study of models and technologies, as well as the implementation of application software are formulated. Information on approbation and publication of research results and their practical significance is given.

The first section provides an overview of existing solutions and works on the theme of the thesis analyzed the modern clinical methods and means of diagnostics of patients with symptoms of tremor of the extremities. The modern approach to science and technology methods of determining the parameters of oscillating motions that accompany trembling limbs in various clinical manifestations. If the computer test is ideal Archimedean spiral, and that it provides a uniform translational motion of symmetric increase the amplitude of the deviation from the center.

An important element of research is to study neuro-bio-feedback systems related analysis and behavior of patients with symptoms of tremor (T-objects) under the cognitive influence of neural nodes of the cerebral cortex.

For a more thorough approach to the study and implementation of the necessary methods, the main parameters of the system were considered, experimental data and related developments are investigated, the existing effective methods of tremor disease identification are analyzed, the advantages and disadvantages of each.

As an analysis of the subject area, it was decided that the solution developed at this stage should be a software library for future integration of implemented classes of algorithms and models into a comprehensive diagnostic system. Also, the task of developing supplied develop a mechanism for testing and debugging techniques developed data analysis spiral. The implementation of the last task can be a computerized model made in the development package MatLab, and simulates the behavior required algorithms and mathematical models for real usage. The elements of machine learning are implemented in the work – to determine and clarify the assessment of the patient's condition according to a large number of records.

The analysis of the subject area detected components, characteristics and methods of data processing that should be considered.

The second section describes the model signals received as input for processing (Fig patient test Archimedean spiral), the accuracy and efficiency of computerized analysis of the degree of tremor were analyzed. The basic simulation results obtained frequency characteristics of the amplitude fluctuations, abnormalities and other indicators.

With the help of the technique of identification of tremor by the spiral pattern the technology of assessment of the condition of patients of clinics and medical centers is developed. The hybrid model of the analysis of abnormal states of T-objects constructed on the basis of the theory of propagation of a wave signal defines the segmental description of 3D-elements of abnormal neurological movements trajectories of the studied T-object (patient limbs) taking into account the matrix of cognitive effects of groups of cortex neuro-nodes on the segments of movement.

The basis of the implementation of our way to put continuous rank limb patient's hand, with an electronic pen reproduces the tread pattern in the form of an Archimedean spiral screen interactive tablet. Spatial 3D-trajectory deviation from the pattern pen has a complex shape is the digital information to determine the state of health of the patient. In order of ANM-decomposition of complex movements into simpler elements, the number of arbitrary partition can be selected depending on the complexity of ANM image. The model involves obtaining quantitative amplitude and frequency characteristics ANM.

Sets of indicators of signals of electroencephalograms (EEG) are used as cognitive feedback-influences of system, which synchronously with the movement of the T-object come from a certain set of neuronodes, controlling the ANM movement. EEG signals generally determine the dynamics of ANM for each j -th segment of the patient's drawing path (Archimedean spiral), $j = \overline{1, n_1 + 1}$, where n_1 - the number of breakpoints of the ANM route.

Based on the analysis the scientific task which is to develop application software, which would be implemented mathematical models used in the analysis of signals movements of patients at diagnosis with essential tremor.

The third section is devoted to the design, development and testing of software complex. Thus, the priority defined user requirements, functional and non-functional software requirements, methods of testing and validation of applied algorithms in practice for the use of software and hardware in diagnostic centers. Also, the choice of hardware and technical solutions of the complex for patient interaction with the system is described. User interfaces and capabilities in accordance with the functional requirements set for the system is shown.

The system for collecting and analyzing spiral images consists of a computer, an interactive pen tablet for digital signal collection using a special remote pen. The patient's task is to draw the Archimedes spiral on the tablet. Spirography provides various quantitative parameters. In addition to spectral analysis of the received signal that provides information about the frequency of tremor, usually used as corner radius and speed conversion time conversion. The radius of the transformation angle depicts

changes in the radius depending on the change in the angle of the spiral pattern. The linear and angular acceleration of the transformation is calculated by the system.

The architectural solution for software development was based on an object-oriented approach. It was also chosen programming language Java for application development. Performing the design of the developed system taking into account the object-oriented approach to execution, the correct solution is the analysis of the main classes and essences of the system.

Important elements of design – an algorithm to obtain parameter values simulated system, the possibility of visual presentation of the results, the need for dynamic setting of system parameters. This allows more clarity to present the results and facilitates targeted use of technology. For further development in tremorography a diagnostic method should be developed as a theoretical knowledge base and diagnostic features and practical developments in the implementation of various types of sensors and hardware and software for processing the data from sensors.

Algorithms and the most important patterns, approaches to software code development are described. The compliance with ISO standards describing the quality characteristics of the product (software quality) is analyzed and substantiated, the process of testing and evaluating the results of development, the choice of the model of the software development life cycle. Underlying sales - an approach using modern architectural solutions and techniques to improve the development and implementation of software. The methods and software used in the performance development system, programming language Java and its libraries, development environment NetBeans IDE, modeling and development environment MatLab, flexible methodologies (Agile) software development, object-oriented approach to the design and implementation of application software.

The fourth section describes the results of the development, testing and implementation of process automation diagnosis. Designed and implemented software library that provides a set of methods and algorithms to study the characteristics. The description of the main possibilities of calculation of parameters and functions of the model is given. To verify the fidelity of applied mathematical models, the accuracy of the results and the overall efficiency of the developed technique was developed model

for testing and debugging techniques of parameter identification system that uses a spiral pattern of the patient as input. As a result of development of this software the user interface and opportunities for interaction and demonstration of work of a product on construction of models are realized.

Architecture model designed system meets style monolithic application using separation of algorithmic models and construction of presenting information visually and as a result. The first part of the library with a set of classes and methods for processing data, the second is responsible for the presentation of data to the user. This is achieved by means important OOP, inheritance, encapsulation and polymorphism.

The method of testing is implemented as a computerized data analysis system spirals. Used software solutions for building, compiling and testing programs SpiralAnalyser.

The scientific novelty of the results:

1) Of the key technologies for the implementation of application software diagnostic systems designed architectural solutions software development; Using methods of identification spiral pattern a technology assessment of patients clinics and medical centers.

2) A system of analysis of neurological movements according to the established templates is developed. A database of patient records and diagnostic data for research has been collected. Data sets were collected and validated to analyze the applicability of the models. A model of data analysis is built;

3) The architecture and composition of the software and hardware complex are designed. Thoughtful and reasonable way to obtain diagnostic data, the most appropriate to use in the real world. The software and hardware complex for implementation of diagnostic tests is realized.

The result is a set of mathematical models and computerized methods of processing input information from the spiral test with the ability to obtain quantitative and qualitative characteristics of tremor, diagnostic data of patient tremorography. In a module software system implemented library with a set of algorithms for automated determination of the extent of the disease with essential tremor. System package that

uses this implementation testing technique using spiral implemented and successfully tested in experimental laboratory of the brain and spinal cord ICM (France).

Keywords: computer simulation, diagnostics, tremor, automation, design and development, mathematical model, algorithms, cognitive connections, multiparameter identification, software and hardware complex, specialized software.

ПЕРЕЛІК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукові праці, в яких опубліковано основні наукові результати дисертації:

1. Петрик М. Р., Мудрик І. Я., Михалик Д. М., Петрик О. Ю., Биць Т. П. Огляд математичних моделей аномальних неврологічних рухів з урахуванням когнітивних feedback-впливів нейровузлів кори головного мозку. Прикладні питання математичного моделювання. 2020. Т. 3, № 2.2. С. 221–234. ISSN 2618-0332. URL: <https://doi.org/10.32782/kntu2618-0340/2020.3.2-2.22> (дата звернення: 23.03.2021). (Індексується в Index Copernicus).

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

2. Мудрик І. Я., Безух Д. М. Автоматизація діагностування захворювання есенціальний тремор на мобільних пристроях з використанням архітектури «клієнт-сервер». *Актуальні задачі сучасних технологій* : зб. тез доп. VI Міжнар. наук.-техн. конф. молод. уч. та студ., м. Тернопіль, 16–17 листоп. 2017 р. Тернопіль : ТНТУ, 2017. Т. 2. С. 126–127. ISBN 978-966-305-086-7.
3. Мудрик І. Я. Способи комп'ютеризованого збору та аналізу параметрів аномальних неврологічних рухів. *Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій* : матеріали Міжнар. наук.-техн. конф. до 100 річчя з дня заснування НАН України та на вшанування пам'яті Івана Пулюя (100 річчя з дня смерті), м. Тернопіль, 22–24 трав. 2018р. Тернопіль : ТНТУ, 2018. С. 221–222.
4. Петрик М., Михалик Д., Петрик О., Мудрик І. Апаратні та програмні засоби ідентифікації аномальних неврологічних рухів у пацієнтів з проявами есенціального тремору. *Інформаційні системи та технології ІСТ-2018* : матеріали 7-ї Міжнар. наук.-техн. конф., присвяч. 55-річчю каф.

Приклад. математики ХНУРЕ, 55-річчю каф. Програм. інженерії ХНУРЕ та 40-річчю каф. Приклад. математики та інформ. технологій ХНУМГ ім. О. М. Бекет, м. Коблеве-Харків, 10–15 верес. 2018 р. Харків, 2018. С. 256–260.

5. Петрик М. Р., Мудрик І. Я., Михалик Д. М., Петрик О. Ю., Биць Т. П. Огляд математичних моделей аномальних неврологічних рухів з урахуванням когнітивних feedback-впливів нейровузлів кори головного мозку. XXI Міжнародна конференція з математичного моделювання (МКММ-2020) : Зб. матеріалів конф., м. Херсон, 14–18 верес. 2020 р. Херсон : ХНТУ, 2020. С. 46. URL: https://sci.ldubgd.edu.ua/bitstream/123456789/7161/1/Тези_МКММ2020_оригінал.pdf (дата звернення: 30.03.2021).
6. Mudryk I., Petryk M., Petryk M., Kushnir O. Hybrid Artificial Intelligence Systems for Complex Neural Network Analysis of Abnormal Neurological Movements with Multiple Cognitive-nodes Signal. 2020 IEEE 15th International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT) : Conference, Збараж, 23–26 верес. 2020 р. 2021. P. 432–435. DOI: 10.1109/CSIT49958.2020.9322018 (Індексується в Scopus).
7. Mudryk I., Mykhalyk D., Petryk M. High-performance Analyzing Methods for Tremorobjects Abnormal States of Neuro-biosystems with Cognitive Feedbacks. 2020 10th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT), Deggendorf, Germany, 16–18 верес. 2020 р. 2020. P. 265–268. DOI: 10.1109/ACIT49673.2020.9209013. ISBN:978-1-7281-6759-6. (Індексується в Scopus).
8. Boyko I., Petryk M., Petryk M., Mudryk I. High-performance Modeling Methods of Feedback-nanoporous Cyber Systems using Nonlinear Adsorption Equilibrium of Gas Cleaning. 2020 10th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT), Deggendorf, Germany, 16–18 верес. 2020 р. 2020. P. 61–64. DOI: 10.1109/ACIT49673.2020.9208989. ISBN:978-1-7281-6759-6 (Індексується в Scopus).

9. [Mudryk I., Petryk M.](#) Hybrid artificial intelligence systems for complex neural network analysis of abnormal neurological movements with multiple cognitive signal nodes. 2020 IEEE Third International Conference on Data Stream Mining & Processing (DSMP) : Conference, Lviv, 21-25 August 2020. 2020. P. 108–111. DOI: [10.1109/DSMP47368.2020.9204341](#) (Індексується в Scopus).
10. Glova B., Mudryk I. Application of Deep Learning in Neuromarketing Studies of the Effects of Unconscious Reactions on Consumer Behavior. 2020 IEEE Third International Conference on Data Stream Mining & Processing (DSMP) : Conference, Lviv, 21-25 August 2020. 2020. P. 337–340. DOI: [10.1109/DSMP47368.2020.9204192](#) (Індексується в Scopus).
11. [Petryk M. R., Boyko I. V., Petryk M. M., Fraissard J., Mudryk I.](#) Modeling of adsorption and desorption of hydrocarbons in nanoporous catalytic zeolite media using nonlinear Langmuir isotherm. 2020 Fourteenth International Conference on Correlation Optics : Conference SPIE 11369, Chernivtsi, 2019. 6 February 2020. DOI: [10.1117/12.2553926](#) (Індексується в Scopus).
12. [Mykhalyk D., Mudryk I., Hoi A., Petryk M.](#) Modern Hardware and Software Solution for Identification of Abnormal Neurological Movements of Patients with Essential Tremor. 2019 9th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT) : Conference, Ceske Budejovice, Czech Republic, 5-7 черв. 2019. 2019. P. 183-186, DOI: [10.1109/ACITT.2019.8780078](#) (Індексується в Scopus).
13. Мудрик, І. Соціальні наслідки інтенсифікації застосування комп'ютерної техніки / І. Мудрик // Збірник тез міжнародної наукової конференції молодих учених та студентів „Філософські виміри техніки“, 30 листопада – 1 грудня 2016 р. — Т. : ТНТУ, 2016 — С. 50-51.
14. Мудрик, І. Я. Автоматизація діагностування захворювання есенціальний тремор з використанням тесту спіралі Архімеда на мобільних пристроях / І. Я. Мудрик, Д. М. Безух // Сучасні наукові інновації (частина II): матеріали Міжнародної науково-практичної конференції м. Київ, 15-16 лютого 2017 р. — Київ. : МЦНД, 2017. — С. 26-28.

Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:

15. Патент на корисну модель: «Спосіб цифрового вимірювання параметрів аномальних неврологічних рухів верхніх кінцівок у пацієнтів з проявами тремору» : пат. №130247 Україна : А61В 5/11 (2006.01). № и 201807031; заявл. 22.06.2018; опубл. 26.11.2018, Бюл. № 22.
16. Методи математичного моделювання для автоматизованої діагностики ступеню есенціального тремору з використанням перетворення Фур'є. ІЯ Мудрик. ТНТУ ім. І. Пулюя. Магістерська робота – 2017, с.97

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

ПЗ – програмне забезпечення.

ПС – програмна система, комплекс програмного забезпечення.

ПК – персональний комп'ютер, робоча машина для розробки та виконання програм.

Java – об'єктно-орієнтована мова програмування від компанії Oracle.

JRE – (Java Runtime Environment) віртуальна машина для виконання java-додатків, складається з JVM та бібліотек Java-класів.

JDK – (Java Development Kit) комплект для розробки java-додатків від Oracle.

JVM – віртуальна машина виконання програм, основна частина виконуваної системи Java. Виконує байт-код компільованої програми.

ООП – (Об'єктно-орієнтований програмування) парадигма програмування, в якій основою є класи та об'єкти, які між собою взаємодіють.

UML – (Unified Modeling Language) уніфікована мова графічного представлення та об'єктного моделювання в області розробки програмного забезпечення парадигми об'єктно-орієнтованого програмування.

Алгоритм – набір інструкцій, які описують порядок виконання дій, що дозволяють досягти результату за скінченну кількість кроків.

Програмна бібліотека – пакет підпрограм або об'єктів, класів, що використовуються в розробці програмного забезпечення.

ЕТ – есенціальний тремор.

FFT – (Fast Fourier Transform) швидке перетворення Фур'є.

T-об'єкт – Тремор-об'єкт.

АНР – аномальні неврологічні рухи.

КГР – кора головного мозку.