

АНОТАЦІЯ

Фахс Мохамад Хассан. Система підтримки прийняття рішень в кардіології на основі методу визначення електричної осі серця. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії (PhD) за спеціальністю 123 – Комп’ютерна інженерія. – Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”, Харків, 2023.

Дисертація присвячена вирішенню актуальної науково-практичної задачі удосконалення методів аналізу біомедичних сигналів із локально зосередженими ознаками в кардіологічних системах підтримки прийняття рішень.

Метою дисертаційної роботи є підвищення ефективності електрокардіологічного дослідження пацієнтів і зниження ризиків прийняття невірних діагностичних рішень за рахунок удосконалення існуючих методів морфологічного аналізу біомедичних сигналів із локально зосередженими ознаками та проектування кардіологічних систем підтримки прийняття рішень на основі цих методів.

Об’єктом дослідження є процес формування діагностичних рішень в умовах суттєвої апріорної невизначеності на основі функціональної діагностики стану серцево-судинної системи.

Предметом виступають методи та засоби побудови біомедичних систем підтримки прийняття рішень для проведення електрокардіографічного дослідження серцево-судинної системи.

У першому розділі виконано постановку науково-практичної задачі удосконалення методів аналізу біомедичних сигналів із локально зосередженими ознаками в кардіологічних системах підтримки прийняття рішень. Досліджено особливості побудови біомедичних систем підтримки прийняття рішень в кардіології. Показана необхідність у розробці нових моделей процесу електрокардіологічного дослідження та методів аналізу біомедичних сигналів із локально зосередженими ознаками з метою забезпечення якісного лікувально-діагностичного процесу та запобігання подальшому розвитку захворювань серця

та серцево-судинної системи. Отримані висновки дали змогу сформулювати мету роботи та задачі дослідження.

В другому розділі виконано системний аналіз процесу вироблення діагностичних рішень з метою виділення критичних елементів кардіологічної СППР, які можуть призвести до вироблення некоректних рішень або відмови від прийняття рішень, що дало змогу представити процес ЕКГ дослідження у вигляді узагальненої моделі, яка складається з функціональної, інформаційної та структурної моделей ЕКГ дослідження. На основі розроблених функціональної та інформаційної моделей запропоновано структурну схему апаратно-програмного комплексу для проведення електрокардіологічного дослідження.

В третьому розділі розроблено новий метод автоматичного визначення електричної осі серця, який за зміною амплітуд у 6 стандартних відведеннях від кінцівок дає змогу обчислити положення електричної осі серця без необхідності морфологічного аналізу електрокардіограми. Продемонстровано роботу розробленого методу автоматичного визначення електричної осі серця для різних випадків розташування електричної осі серця і патологічних станів серцево-судинної системи.

В четвертому розділі виконано верифікацію результатів розрахунку електричної осі серця за допомогою запропонованого в дисертаційній роботі методу з використанням бази даних електрокардіограм, що були записані за допомогою транстелефонного цифрового 12-канального ЕКГ комплексу «Телекард» (виробництво ТОВ «Компанія TREDEX», м. Харків) і розшифровані лікарями-кардіологами комунального некомерційного підприємства Харківської обласної ради «Центр екстреної медичної допомоги та медицини катастроф».

У висновках наведено основні результати наукової роботи щодо вирішення поставлених наукових задач дослідження.

За результатами дослідження отримано такі наукові результати:

– одержали подальший розвиток методи системного аналізу, які полягають у побудові узагальненої моделі процесу електрокардіологічного дослідження у вигляді сукупності функціональної, інформаційної та структурної моделей, що

дала змогу виділити основні джерела та потоки інформації, критичні етапи обробки діагностичної інформації з метою підвищення ефективності електрокардіологічного дослідження;

– вперше розроблено структурну модель електрокардіологічного дослідження у вигляді ймовірно-часового графа, за допомогою якої отримано аналітичні вирази, що описують процес вироблення діагностичних рішень у результаті електрокардіологічного дослідження при заданих початкових умовах, а також визначено критерії ефективності проведення електрокардіологічного дослідження, що дало змогу виконати аналіз та оптимізацію як усього процесу електрокардіологічного дослідження, так і окремих його етапів;

– вперше розроблено метод автоматичного визначення електричної осі серця, що заснований на обчисленні інтегрального сигналу за шістьма стандартними відведеннями від кінцівок і кластерному аналізу, що дало змогу підвищити ймовірність правильного обчислення положення електричної осі серця без необхідності проводити морфологічний аналіз електрокардіограми.

Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що розроблені в дисертаційній роботі моделі процесу електрокардіологічного дослідження та метод автоматичного визначення електричної осі серця є науково-методичною основою для розробки відповідних алгоритмів і програмного забезпечення. Практична цінність отриманих результатів полягає в наступному:

– розроблено програмне забезпечення для знаходження аналітичних виразів твірної функції, ймовірності та середнього часу проведення електрокардіологічного дослідження за запропонованою структурною моделлю;

– розроблена структурна схема апаратно-програмного комплексу для проведення електрокардіологічного дослідження;

– розроблено програмне забезпечення для визначення електричної осі серця.

Результати дисертаційної роботи впроваджено у вигляді моделей, алгоритмів і програмних модулів для рішення задач підтримки прийняття рішень у біомедичних системах, що підтверджено актом про впровадження на кафедрі

«Комп'ютерна інженерія та програмування» Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» у науково-дослідній роботі й навчальному процесі під час вивчення дисциплін «Обробка сигналів і зображень», «Проектування комп'ютерних діагностичних систем», «Основи наукових досліджень», а також у курсових і дипломних роботах бакалаврів і магістрів за спеціальністю «Комп'ютерна інженерія» (м. Харків).

Ключові слова: біомедичні сигнали, електрична вісь серця, система підтримки прийняття рішень, електрокардіологічне дослідження, модель, комп'ютерні системи, медичні інформаційні системи, діагностування.

Список публікацій здобувача

Статті у виданнях, які включені до наукометричної бази Scopus:

1. Fahs M. Developing an informational model of instrumental examination / A. Filatova, A. Povoroznyuk, S. Gavrylenko, and M. Fahs // Journal of Physics: Conference Series. – 2019. – Vol. 1260 (2019) 032017 (Великобританія, Scopus).

<https://doi.org/10.1088/1742-6596/1260/3/032017>

2. Fahs M. Evaluating the Effectiveness of Electrocardiological Study Using Cardiological Decision Support Systems / A. Filatova, I. Skarga-Bandurova, E. Brezhniev, M. Fahs // CEUR Workshop Proceedings 2711, CEUR-WS.org 2020. – P. 294-308. ISSN 16130073 (США, Scopus)

Статті у періодичних наукових виданнях, що увійшли до переліку наукових фахових видань України:

3. Fahs M. Application of probabilistic-time graphs for evaluating the effectiveness of the electrocardiological study process / A.E. Filatova, A.I. Povoroznyuk, M. Fahs // Applied Aspects of Information Technology. – 2020. – Vol. 3 (1). – P. 405–417. (журнал категорії Б, Наказ МОН України № 1301 від 15.10.2019).

<https://doi.org/10.15276/aait.01.2020.3>

4. Fahs M. Method of automatic determination of the heart's electrical axis in

cardiological decision support systems / Anna E. Filatova, Mohamad Fahs // Applied Aspects of Information Technology. – 2021. – Vol.4, No.1. (журнал категорії Б, Наказ МОН України № 1301 від 15.10.2019).

<https://doi.org/10.15276/aait.01.2021.1>

5. Фахс М. Функціональна модель електрокардіологічного дослідження / М. Фахс, Г. Є. Філатова // Системи управління, навігації та зв'язку. – 2022. – № 2. – С. 85–90. (журнал категорії Б, Накази МОН України №157 від 09.02.2021).

<https://doi.org/10.26906/SUNZ.2022.2.085>

6. Fahs M. Synthesis of an integral signal for solving the problem of morphological analysis of electrocardiograms / A.Ye. Filatova, A.I. Povoroznyuk, B.P. Nosachenko, Mohamad Fahs // Herald of Advanced Information Technology. –2022. – Vol. 5, No. 4. – P. 263–274. (журнал категорії Б, Накази МОН України № 1301 від 15.10.2019).

<https://doi.org/10.15276/hait.05.2022.19>

Інші публікації

7. Фахс М. Исследование эффективности принятия решений в процессе электрокардиологического исследования / А.Е. Филатова, М. Фахс // Актуальные проблемы информационных систем и технологий: монография. / [под науч. ред. проф. В.Вычужанина]. – Одесса: НУ «ОМА», 2020. – С. 101-114.

8. Фахс М. Особенности построения биомедицинских систем поддержки принятия решений / М. Фахс // Матеріали 27-ї міжвузівської студентської науково-практичної конференції "Роль науки у розвитку суспільства" 18 квітня 2019, м. Харків. – Харків: НТУ «ХП», 2019. – С. 39.

9. Фахс М. Определение параметров ЭКГ-годографов в кардиологических системах поддержки принятия решений / А.Е. Филатова, М. Фахс // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXVII міжнародної науково-практичної конференції MicroCAD-2019, Ч.ІІІ. – Харків: НТУ «ХП», 2019. – С. 56.

10. Фахс М. Разработка функциональной модели электрокардиологического

исследования / А.Е. Филатова, М. Фахс // Матеріали 19-й міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми інформатики та моделювання» (ПІМ 2019) 11-16 вересня 2019, м. Харків – Одеса (Караліно-Бугаз). – Харків: НТУ «ХПІ», 2019. – С. 82.

11. Фахс М. Розробка узагальненої моделі електрокардіологічного обстеження / Г. Є. Філатова, М. Фахс // Сучасні проблеми інфокомунікацій, радіоелектроніки та наносистем (СПРН-2019) : матеріали 1-ї Міжнар. наук.-техн. конф., 14-16 листопада 2019 р. / відп. ред. В. М. Кичак. – Вінниця : ВНТУ, 2019. – С. 42-43.

12. Фахс М. Проектирование информационной модели электрокардиологического исследования / А. Е. Филатова, М. Фахс // Информатика, управління та штучний інтелект : тези 6-ї міжнар. наук.-техн. конф., Харків – Краматорськ, 27-29 листопада 2019 р. / наук. ред. В. Д. Дмитрієнко ; Нац. техн. ун-т "Харків. політехн. ін-т". – Харків : Тарасенко В. П., 2019. – С. 118.

13. Фахс М. Інформаційна модель ЕКГ-дослідження / Г. Є. Філатова, М. Фахс // Інформаційні системи та технології в медицині (ІСМ–2019) : зб. наук. пр. 2-ї Міжнар. наук.-практ. конф., 28-29 листопада 2019 р. – Харків : ВЦ "ХАІ", 2019. – С. 113-115.

14. Фахс М. Застосування імовірнісний-часових графів для оцінки ефективності процесу електрокардіологічного дослідження / Г.Є. Філатова, М. Фахс // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXVII міжнародної науково-практичної конференції MicroCAD-2020, Ч.ІІ. – Харків: НТУ «ХПІ», 2020. – С. 370.

15. Фахс М. Оценка эффективности принятия решений в процессе электрокардиологического исследования / А. Е. Филатова, М. Фахс // Інформаційні управляючі системи і технології (ГУСТ-2020) : матеріали 9-ї Міжнар. наук.-практ. конф., 24-26 вересня 2020 р. / відп. ред. В. В. Вичужанін; Одес. нац. політех. ун-т. – Одеса : Екологія, 2020. – С. 146-148.

16. Фахс М. Разработка структурной модели на основе вероятностно-временного графа для оценки эффективности процесса электрокардиологического

исследования / А.Е. Филатова, М. Фахс // Матеріали 20-й міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми інформатики та моделювання» (ПІМ 2020) 16-20 вересня 2020, м. Харків – Одеса. – Харків: НТУ «ХПІ», 2020. – С. 87.

17. Фахс М. Аналіз структурної моделі процесу електрокардіологічного дослідження / А.Е. Філатова, М. Фахс // Матеріали XV міжнародній конференції "контроль і управління в складних системах" (КУСС-2020) 8-10 жовтня 2020, м. Вінниця. – <http://ir.lib.vntu.edu.ua/handle/123456789/30623>

18. Fahs M. Evaluating the effectiveness of electrocardiological study using a new method of signal processing / А.Е. Filatova, М. Fahs // «Інформаційні системи та технології в медицині» (ІСМ–2020): матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції (26 - 27 листопада 2020 р., м. Харків). – Харків : Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського «Харків. авіац. ін-т», 2020.

19. Fahs M. Method of automatic determination of the heart's electrical axis / А.Е. Filatova, М. Fahs // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей ХХІХ міжнародної науково-практичної конференції MicroCAD-2021, Ч.ІІ. – Харків: НТУ «ХПІ», 2021. – С. 297.

20. Фахс М. Разработка метода автоматического расчета электрической оси сердца для кардиологических систем поддержки принятия решений / А.Е. Филатова, М. Фахс // Матеріали 21-й міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми інформатики та моделювання» (ПІМ 2021) 9-14 вересня 2021, м. Харків – Одеса. – Харків: НТУ «ХПІ», 2021. – С. 17.

21. Fahs M. Automatic determination of the heart's electrical axis in cardiological decision support systems / А.Е. Filatova, М. Fahs // «Інформаційні системи та технології в медицині» (ІСМ–2021): матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції (25–26 листопада 2021 р., м. Харків). – Харків: Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського «Харків. авіац. ін-т», 2021.

22. Фахс М. Розробка інформаційної моделі електрокардіологічного дослідження / Г.Є. Філатова, М. Фахс // Матеріали ІХ Міжнародної науково-технічної конференції "Інформатика, управління та штучний інтелект (ІУШІ-2022)". – Харків – Краматорськ, 2022. – С. 133.

23. Фахс М. Аналіз потоків даних у інформаційній моделі електрокардіологічного дослідження / Г.Є. Філатова, М. Фахс // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXX міжнародної науково-практичної конференції MicroCAD-2022. – Харків: НТУ «ХП», 2022. – С. 910.

24. Фахс М. Аналіз ймовірнісно-часових характеристик процесу ЕКГ дослідження/ Г.Є. Філатова, М. Фахс // Матеріали 22-й міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми інформатики та моделювання» (ПІМ 2022). – Харків: НТУ «ХП», 2022. – С. 74.

25. Fahs M. Functional Model of an Electrocardiological Study / A. Filatova, A. Povoroznyuk, M. Fahs // 2022 IEEE 9th International Conference on Problems of Infocommunications Science and Technology, PIC S & T 2022 - Proceedings, 2022, pp. 567–572.

ABSTRACT

Fahs Mohamad Hassan. Decision support system in cardiology based on the method for determining the heart's electrical axis. – Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

The thesis is submitted to obtain a scientific degree of Doctor of Philosophy, specialty 123 – Computer Engineering. – National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”, Kharkiv, 2023.

The dissertation is dedicated to addressing the current scientific and practical task of improving the methods of analyzing biomedical signals with locally concentrated features in cardiological decision support systems.

The purpose of the dissertation work is to increase the efficiency of electrocardiological patient studies and reduce the risks of making incorrect diagnostic decisions by improving existing methods of morphological analysis of biomedical signals with locally concentrated features and designing cardiological decision support systems based on these methods.

The object of the study is the process of forming diagnostic making under conditions of significant a priori uncertainty based on functional diagnostics of the state of the cardiovascular system.

The subject of the study is the methods and tools of developing biomedical decision support systems for conducting an electrocardiographic study of the cardiovascular system.

The first chapter formulates the scientific and practical task to improving the methods of analyzing biomedical signals with locally concentrated features in cardiological decision support systems. The features of building biomedical decision support systems in cardiology are investigated. The need to develop new models of the electrocardiological study process and methods for analyzing biomedical signals with locally concentrated features is shown, with the aim of ensuring high-quality medical diagnostic processes and preventing further development of heart and cardiovascular diseases. The conclusions obtained allowed formulating the purpose and objectives of the research.

In the second chapter, a systematic analysis of the process of making diagnostic decisions is performed to identify critical elements of the cardiological decision support system that may lead to incorrect decisions or decision rejection. This enabled the presentation of the ECG study process in the form of a comprehensive model, consisting of functional, informational, and structural models of the ECG study. Based on the developed functional and informational models, a structural diagram of the hardware and software complex for conducting electrocardiological research is proposed.

In the third chapter, a new method for automatically determining the heart's electrical axis is developed, which, based on changes in amplitudes in 6 standard limb leads, allows calculating the position of the heart's electrical axis without the need for morphological analysis of the electrocardiogram. The operation of the developed method for automatically determining the heart's electrical axis is demonstrated for different cases of the electrical axis of the heart's location and pathological conditions of the cardiovascular system.

In the fourth chapter, the results of calculating the heart's electrical axis using the method proposed in the dissertation are verified using an electrocardiogram database recorded with the Telecard digital 12-channel ECG complex (manufactured by LLC "TREDEX," Kharkiv) and decoded by cardiologists of the Kharkiv Regional Council's Communal Non-Profit Enterprise "Center for Emergency Medical Assistance and Disaster Medicine".

The conclusions present the main results of the scientific work on solving the scientific objectives of the study.

Based on the research results, the following scientific novelty have been obtained:

- methods of system analysis have been further developed, which consist in building the generalized model of the electrocardiological study process in the form of the set of functional, informational, and structural models, which made it possible to identify the main sources and flows of information, critical stages of processing diagnostic information in order to increase the efficiency of electrocardiological study;
- for the first time, a structural model of an electrocardiological study has been developed in the form of a probabilistic-time graph, with the help of which analytical

expressions were obtained that describe the process of developing diagnostic decisions as a result of an electrocardiological study under the given initial conditions, and criteria for the effectiveness of an electrocardiological study were determined, which made it possible to perform analysis and optimization as the whole process of an electrocardiological study, as well as its individual stages;

- for the first time, a method was developed for automatically determining the heart's electrical axis, which is based on the calculation of the integral signal from six standard leads from the limbs and cluster analysis, which made it possible to increase the probability of correctly calculating the position of the heart's electrical axis without the need to conduct a morphological analysis of the electrocardiogram.

The practical significance of the obtained results lies in the fact that the models of the electrocardiological study process and the method for automatic determination of the heart's electrical axis developed in the dissertation work serve as the scientific and methodological basis for the development of corresponding algorithms and software. The practical value of the obtained results includes the following:

- software has been developed for finding analytical expressions of the transfer function, probability, and average time of conducting an electrocardiological study based on the proposed structural model;

- a structural diagram of hardware and software complex for conducting electrocardiological research has been developed;

- software for determining the heart's electrical axis has been developed.

The results of the dissertation work were implemented in the form of models, algorithms, and software modules for solving decision support problems in biomedical systems, which is confirmed by the act of implementation at the Department of Computer Engineering and Programming of the National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute" in research and educational work the process of studying the disciplines "Signal and Image Processing", "Design of Computer Diagnostic Systems", "Fundamentals of Scientific Research", as well as coursework and theses for bachelors and masters in the specialty "Computer Engineering" (Kharkov).

Keywords: biomedical signals, heart's electrical axis, decision support system,

electrocardiological study, model, computer systems, medical information systems, diagnosis.

List of publications of the applicant

Articles in publications that are included in the Scopus scientometric database:

1. Fahs M. Developing an informational model of instrumental examination / A. Filatova, A. Povoroznyuk, S. Gavrylenko, and M. Fahs // Journal of Physics: Conference Series. – 2019. – Vol. 1260 (2019) 032017 (Great Britain, Scopus).

<https://doi.org/10.1088/1742-6596/1260/3/032017>

2. Fahs M. Evaluating the Effectiveness of Electrocardiological Study Using Cardiological Decision Support Systems / A. Filatova, I. Skarga-Bandurova, E. Brezhniev, M. Fahs // CEUR Workshop Proceedings 2711, CEUR-WS.org 2020. – P. 294-308. ISSN 16130073 (USA, Scopus).

Articles in periodical scientific publications included

in the list of specialized scientific publications of Ukraine:

3. Fahs M. Application of probabilistic-time graphs for evaluating the effectiveness of the electrocardiological study process / A.E. Filatova, A.I. Povoroznyuk, M. Fahs // Applied Aspects of Information Technology. – 2020. – Vol. 3 (1). – P. 405–417. (journal category B, Order of the Ministry of Education and Science of Ukraine № 1301, 15.10.2019).

<https://doi.org/10.15276/aait.01.2020.3>

4. Fahs M. Method of automatic determination of the heart's electrical axis in cardiological decision support systems / Anna E. Filatova, Mohamad Fahs // Applied Aspects of Information Technology. – 2021. – Vol.4, No.1. (journal category B, Order of the Ministry of Education and Science of Ukraine № 1301, 15.10.2019).

<https://doi.org/10.15276/aait.01.2021.1>

5. Fahs M. Funktsionalna model elektrokardiologichnoho doslidzhennia / M. Fahs, H. Ye. Filatova // Systemy upravlinnia, navihatsii ta zviazku. – 2022. – № 2. – C. 85–90. (journal category B, Order of the Ministry of Education and Science of Ukraine

№157, 09.02.2021).

<https://doi.org/10.26906/SUNZ.2022.2.085>

6. Fahs M. Synthesis of an integral signal for solving the problem of morphological analysis of electrocardiograms / A.Ye. Filatova, A.I. Povoroznyuk, B.P. Nosachenko, Mohamad Fahs // Herald of Advanced Information Technology. –2022. – Vol. 5, No. 4. – P. 263–274. (journal category B, Order of the Ministry of Education and Science of Ukraine № 1301, 15.10.2019).

<https://doi.org/10.15276/hait.05.2022.19>

Other publications

7. Fahs M. Issledovanie effektivnosti prinyatiya reshenii v protsesse elektrokardiologicheskogo issledovaniya / A.E. Filatova, M. Fahs // Aktualnie problemi informatsionnikh sistem i tekhnologii: monografiya. / [pod nauch. red. prof. V.Vichuzhanina]. – Odessa: NU «OMA», 2020. – S. 101-114.

8. Fahs M. Osobennosti postroeniya biomeditsinskikh sistem podderzhki prinyatiya reshenii / M. Fahs // Materialy 27-yi mizhvuzivskoi studentskoi naukovo-praktychnoi konferentsii "Rol nauky u rozvytku suspilstva" 18 kvitnia 2019, m. Kharkiv. – Kharkiv: NTU «KhPI», 2019. – S. 39.

9. Fahs M. Opredelenie parametrov EKG-godografov v kardiologicheskikh sistemakh podderzhki prinyatiya reshenii / A.E. Filatova, M. Fahs // Informatsiini tekhnolohii: nauka, tekhnika, tekhnolohiia, osvita, zdorovia: tezy dopovidei KhXVII mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii MicroCAD-2019, Ch.III. – Kharkiv: NTU «KhPI», 2019. – S. 56.

10. Fahs M. Razrobotka funktsionalnoi modeli elektrokardiologicheskogo issledovaniya / A.E. Filatova, M. Fahs // Materialy 19-y mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii «Problemy informatyky ta modeliuvannia» (PIM 2019) 11-16 veresnia 2019, m. Kharkiv – Odesa (Karalino-Buhaz). – Kharkiv: NTU «KhPI», 2019. – S. 82.

11. Fahs M. Rozrobka uzahalnenoi modeli elektrokardiologicheskoho obstezhennia / H. Ye. Filatova, M. Fahs // Suchasni problemy infokomunikatsii, radioelektroniky ta

nanosystem (SPIRN-2019) : materialy 1-yi Mizhnar. nauk.-tekhn. konf., 14-16 lystopada 2019 r. / vidp. red. V. M. Kychak. – Vinnytsia : VNTU, 2019. – S. 42-43.

12. Fahs M. Proektirovanie informatsionnoi modeli elektrokardiologicheskogo issledovaniya / A. Ye. Filatova, M. Fahs // Informatyka, upravlinnia ta shtuchnyi intelekt : tezy 6-yi mizhnar. nauk.-tekhn. konf., Kharkiv – Kramatorsk, 27-29 lystopada 2019 r. / nauk. red. V. D. Dmytrienko ; Nats. tekhn. un-t "Kharkiv. politekhn. in-t". – Kharkiv : Tarasenko V. P., 2019. – S. 118.

13. Fahs M. Informatsiina model EKH-doslidzhennia / H. Ye. Filatova, M. Fahs // Informatsiini systemy ta tekhnolohii v medytsyni (ISM–2019) : zb. nauk. pr. 2-yi Mizhnar. nauk.-prpakt. konf., 28-29 lystopada 2019 r. – Kharkiv : VTs "KhAI", 2019. – S. 113-115.

14. Fahs M. Zastosuvannia imovirnisnyi-chasovykh hrafiv dlia otsinky efektyvnosti protsesu elektrokardiologichnoho doslidzhennia / H.Ie. Filatova, M. Fahs // Informatsiini tekhnolohii: nauka, tekhnika, tekhnolohiia, osvita, zdorovia: tezy dopovidei KhXVII mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii MicroCAD-2020, Ch.II. – Kharkiv: NTU «KhPI», 2020. – S. 370.

15. Fahs M. Otsenka effektivnosti prinyatiya reshenii v protsesse elektrokardiologicheskogo issledovaniya / A. Ye. Filatova, M. Fahs // Informatsiini upravliaiuchi systemy i tekhnolohii (IUST-2020) : materialy 9-yi Mizhnar. nauk.-prakt. konf., 24-26 veresnia 2020 r. / vidp. red. V. V. Vychuzhanin; Odes. nats. politekh. un-t. – Odesa : Ekolohiia, 2020. – S. 146-148.

16. Fahs M. Razrabotka strukturnoi modeli na osnove veroyatnostno-vremennogo grafa dlia otsenki effektivnosti protsesa elektrokardiologicheskogo issledovaniya / A.E. Filatova, M. Fahs // Materialy 20-y mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii «Problemy informatyky ta modeliuvannia» (PIM 2020) 16-20 veresnia 2020, m. Kharkiv – Odesa. – Kharkiv: NTU «KhPI», 2020. – S. 87.

17. Fahs M. Analiz strukturnoi modeli protsesu elektrokardiologichnoho doslidzhennia / A.E. Filatova, M. Fahs // Materialy KhV mizhnarodnii konferentsii "kontrol i upravlinnia v skladnykh systemakh" (KUSS-2020) 8-10 zhovtnia 2020, m. Vinnytsia. – <http://ir.lib.vntu.edu.ua/handle/123456789/30623>

18. Fahs M. Evaluating the effectiveness of electrocardiological study using a new method of signal processing / A.E. Filatova, M. Fahs // «Informatsiini systemy ta tekhnolohii v medytsyni» (ISM–2020): materialy III Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii (26 - 27 lystopada 2020 r., m. Kharkiv). – Kharkiv : Nats. aerokosm. un-t im. M. Ye. Zhukovskoho «Kharkiv. aviats. in-t», 2020.

19. Fahs M. Method of automatic determination of the heart's electrical axis / A.E. Filatova, M. Fahs // Informatsiini tekhnolohii: nauka, tekhnika, tekhnolohiia, osvita, zdorovia: tezy dopovidei KhXIX mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii MicroCAD-2021, Ch.II. – Kharkiv: NTU «KhPI», 2021. – S. 297.

20. Fahs M. Razrabotka metoda avtomaticheskogo rascheta elektricheskoi osi serdtsa dlya kardiologicheskikh sistem podderzhki prinyatiya reshenii / A.E. Filatova, M. Fahs // Materialy 21-y mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii «Problemy informatyky ta modeliuvannia» (PIM 2021) 9-14 veresnia 2021, m. Kharkiv – Odesa. – Kharkiv: NTU «KhPI», 2021. – S. 17.

21. Fahs M. Automatic determination of the heart's electrical axis in cardiological decision support systems / A.E. Filatova, M. Fahs // «Informatsiini systemy ta tekhnolohii v medytsy-ni» (ISM–2021): materialy IV Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii (25–26 lystopada 2021 r., m. Kharkiv). – Kharkiv: Nats. aerokosm. un-t im. M. Ye. Zhukovskoho «Kharkiv. aviats. in-t», 2021.

22. Fahs M. Rozrobka informatsiinoi modeli elektrokardiologichnoho doslidzhennia / H.Ie. Filatova, M. Fahs // Materialy IX Mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii "Informatyka, upravlinnia ta shtuchnyi intelekt (IUSHI-2022)". – Kharkiv – Kramatorsk, 2022. – S. 133.

23. Fahs M. Analiz potokiv danykh u informatsiinii modeli elektrokardiologichnoho doslidzhennia / H.Ie. Filatova, M. Fahs // Informatsiini tekhnolohii: nauka, tekhnika, tekhnolohiia, osvita, zdorovia: tezy dopovidei KhXX mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii MicroCAD-2022. – Kharkiv: NTU «KhPI», 2022. – S. 910.

24. Fahs M. Analiz ymovirnisno-chasovykh kharakterystyk protsesu EKH doslidzhennia/ H.Ie. Filatova, M. Fahs // Materialy 22-y mizhnarodnoi naukovo-

praktychnoi konferentsii «Problemy informatyky ta modeliuвання» (PIM 2022). – Kharkiv: NTU «KhPI», 2022. – S. 74.

25. Fahs M. Functional Model of an Electrocardiological Study / A. Filatova, A. Povoroznyuk, M. Fahs // 2022 IEEE 9th International Conference on Problems of Infocommunications Science and Technology, PIC S & T 2022 - Proceedings, 2022, pp. 567–572.