

А. И. Поворознюк, О. А. Поворознюк, Г. Р. Мумладзе

Национальный технический университет «ХПИ», Харьков, Украина

## РАЗРАБОТКА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ МОДЕЛИ ЭТАПОВ ДИАГНОСТИКО-ЛЕЧЕБНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ В СИСТЕМАХ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В МЕДИЦИНЕ

**Предметом** изучения в статье является комплекс диагностически-лечебных мероприятий (ДЛМ). **Целью** данного исследования является формализация этапов диагностико-лечебных мероприятий при проектировании компьютерных систем поддержки принятия решений в медицине. **Задачи:** формализовать задачу комплексной оценки этапов ДЛМ, определить множества входов, выходов и управляющих воздействий каждого этапа ДЛМ, разработать функциональную модель процесса ДЛМ и выполнить ее декомпозицию. Для достижения целей в работе используются: **методология** функционального моделирования IDEF0 для построения функциональной модели; **методы** морфологического анализа для выделения диагностически-значимых структурных элементов биомедицинских сигналов и изображений; **методы** кластеризации для синтеза иерархических структур диагностируемых состояний (дерева решений) и диагностических признаков; **методы** теории информации для синтеза структуры информативных признаков; **методы** теории принятия решений для синтеза диагностического решающего правила. **Выводы.** Научная новизна состоит в следующем: разработана функциональная модель диагностико-лечебных мероприятий, которая является основой для разработки структурной и математической модели, а также для разработки структуры системы поддержки принятия решений при проведении диагностико-лечебных мероприятий, что в конечном итоге приводит к повышению эффективности предоставления медицинских услуг и минимизации рисков врачебных ошибок. Дальнейшие исследования направлены на использование более сложного представления врачебных действий, включая при необходимости ранговые и числовые компоненты, формируя соответствующее пространство при реализации других видов врачебных действий.

**Ключевые слова:** компьютерная система, поддержка принятия решений, диагностика, врачебное действие, функциональная модель, диагностический признак, решающее правило.

### Введение

Комплекс диагностически-лечебных мероприятий (ДЛМ) состоит из двух взаимосвязанных этапов: диагностики пациента и лечения выявленных заболеваний с возможной последующей реабилитацией. Следует отметить, что диагностика является сложным процессом уточнения диагноза, в котором участвуют несколько врачей (семейный врач и врачи специалисты). Результатом диагностики является развернутый диагноз, который включает основное и сопутствующие заболевания, причем после диагностики и назначения лечебных процедур необходим мониторинг текущего состояния пациента с целью оценки эффективности процесса лечения и, при необходимости, его коррекции. Для лечения того или иного заболевания необходимо предоставление определенных врачебных действий (ВД) на организм пациентов (хирургическое вмешательство, фармакологическое, лечебно-терапевтическое воздействие, реабилитационные мероприятия) или их комбинация.

На каждом из указанных этапов врач, как лицо, принимающее решение (ЛПР), выполняет управленческое решение в условиях дефицита исходных данных и существенной априорной неопределенности, основываясь на своей квалификации, опыте и интуиции. При этом принятие неправильного решения (врачебная ошибка) как на этапе диагностики, так и на этапе лечения может иметь катастрофические последствия для здоровья пациента. Термин «врачебная ошибка» (ВО) определяет неправильную диагностику болезни или неправильные ВД, которые обусловлены искренним заблуждением врача,

при этом исключаются халатность и недобросовестность при исполнении своих обязанностей. Причиной ошибки диагностики является недостаточный объем и/или недостаточная информативность диагностических данных (применение устаревшего оборудования или недостаточная квалификация врача, который назначал список обследований), или их неверная интерпретация (особенно при субъективном анализе качественных показателей).

Причиной неправильных ВД при правильном диагнозе является недостаточный учет индивидуальных особенностей пациента (аллергические реакции на определенные препараты, список болезней, которыми уже болел пациент, принимаемые лекарства и т.д.).

В настоящее время имеется широкий спектр компьютерных диагностических систем в различных предметных областях медицины [1, 2], в которых используются различные математические методы поддержки принятия решений (детерминированная логика [3], вероятностный подход [4], нечеткая логика [5, 6], нейронные сети [7] и т.д.) и современные информационные технологии, включая телемедицину [8–11]. Так как существенную долю диагностической информации содержат биомедицинские сигналы и изображения (БМС/И), то методам их обработки с целью повышения качества визуализации, морфологического анализа (выделение диагностически-значимых структурных элементов на фоне помех), определения диагностических признаков, уделяется большое внимание [12, 13]. Информатизация рекомендаций по выбору и реализации ВД на современном этапе выполнена не так широко, и ограничивается медицинскими справочниками, рекомендациями

по выполнению врачебных процедур [14], в том числе в виде информационно-поисковых систем [15].

В современных компьютерных системах поддержки принятия решений в медицине задачи диагностики и ВД рассматриваются независимо друг от друга, при диагностике минимизируется риск неправильной постановки диагноза без учета этапа ВД, поэтому актуальной является задача минимизации риска ВО при комплексной оценке всех этапов ДЛМ.

**Цель и задачи исследования.** Целью работы является формализация задачи и разработка информационной технологии комплексной оценки этапов ДЛМ с целью повышения эффективности предоставления медицинских услуг и минимизации риска врачебных ошибок.

Для достижения поставленной цели эта работа решает следующие задачи:

- формализовать задачу комплексной оценки этапов ДЛМ, определить множества входов, выходов и управляющих воздействий каждого этапа ДЛМ;

- разработать функциональную модель процесса ДЛМ и выполнить ее декомпозицию.

**Методы и основные предположения.** Для достижения целей в работе используются: методология функционального моделирования IDEF0 для построения функциональной модели; методы морфологического анализа для выделения диагностически-значимых структурных элементов биомедицинских сигналов и изображений; методы кластеризации для синтеза иерархических структур диагностируемых состояний (дерева решений) и диагностических признаков; методы теории информации для синтеза структуры информативных признаков; методы теории принятия решений для синтеза диагностического решающего правила.

### Формализация этапов ДЛМ, разработка функциональной модели

Представим процесс диагностико-лечебных мероприятий в виде обобщенной модели  $M_G$  вида:  $M_G = \{M_F, M_S, M_M\}$ , где  $M_F, M_S, M_M$  - функциональная, структурная, математическая модели процесса ДЛМ соответственно.

Рассмотрим более подробно функциональную модель (рис. 1). Разработка функциональной модели ДЛМ выполнена с помощью методологии функционального моделирования IDEF0. Для построения контекстной диаграммы, которая представляет ДЛМ как единое целое и показывает связь с внешним миром, необходимо определить входы, выходы, управление и механизмы. В качестве входов  $M_F$  рассматриваются следующие структуры данных, которые использу-

ются в заданной предметной области медицины:

- множество анализируемых БМС/И, результатом анализа которых является множество вычисляемых (вторичных) диагностических признаков;

- множество измеряемых (первичных) диагностических признаков  $X$ ;

- множества диагностируемых состояний  $D$ .

Кроме того, входными данными являются диагностические данные, которые получены при обследовании каждого пациента и определяют его состояние: реализация БМС/И каждого пациента; реализация первичных диагностических признаков пациента.

Выходом  $M_F$  являются рекомендованные системой и подтвержденные или скорректированные врачом необходимые врачебные действия для конкретного пациента.

В качестве управления выступают различные законодательные акты и нормативная документация, структура диагностического решающего правила, а также применяемые критерии оптимизации  $Q1 - Q4$ . Структуру диагностического решающего правила определяет математический метод классификации диагностируемых состояний при анализе диагностических признаков: детерминистический, вероятностный, на основе нейронных сетей и т.д. Основными механизмами в контекстной диаграмме являются пациент, ЛПР, медперсонал, который обеспечивает процесс инструментального обследования пациента и система поддержки принятия решений в медицине.

Для декомпозиции контекстной диаграммы (рис. 2) были выделены два основных функциональных блока (работы), которые соответствуют этапам ДЛМ:

- выполнить диагностику пациента;

- выполнить необходимые врачебные действия.

Управлением для всех работ являются различные критерии оптимизации, которые рассматриваются при дальнейшей декомпозиции контекстной диаграммы.

Была выполнена дальнейшая декомпозиция работ 1 и 2. При этом работа 1 была разбита на функциональные блоки «Формирование вектора диагностических признаков» (работа 1.1) и «Постановка диагноза» (работа 1.2), после чего была выполнена их декомпозиция (рис. 3-5).

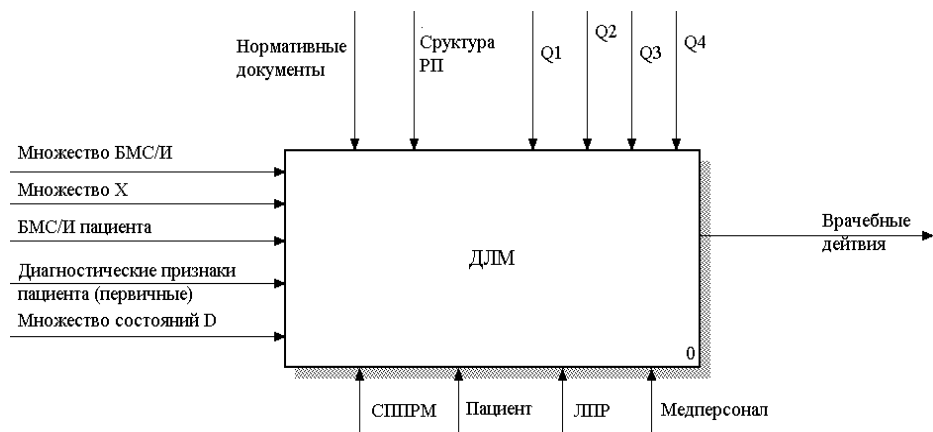


Рис. 1. Функциональная модель этапов ДЛМ

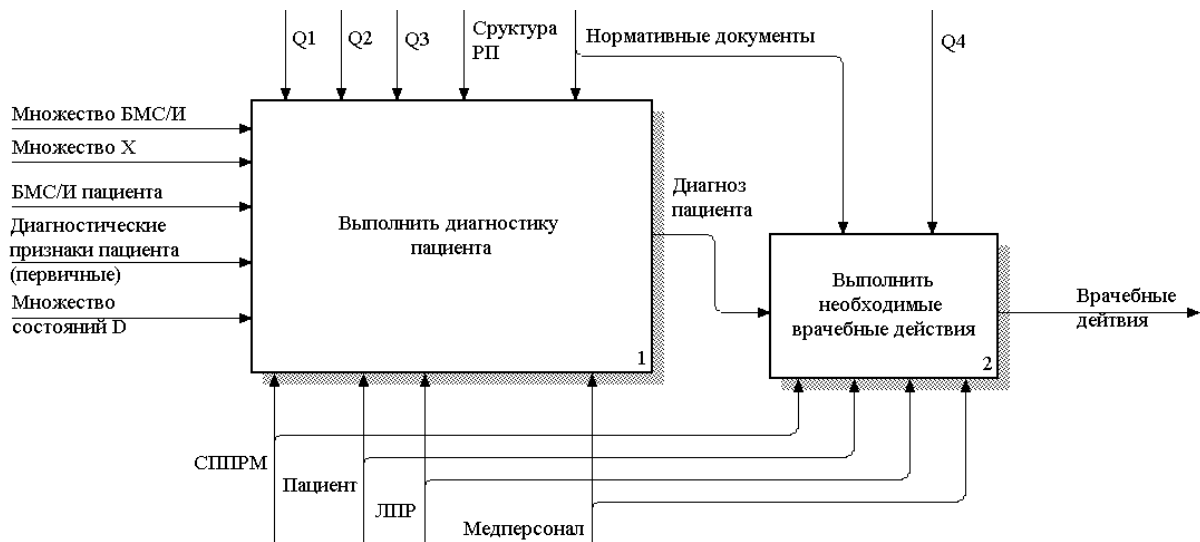


Рис. 2. Декомпозиция контекстной диаграммы ДЛМ

Входом работы 1.1.1 «Сформировать алгоритм морфологического анализа» (рис. 3) является множество БМС/И, которое задается протоколом обследования; выходом – множество структурных элементов  $\omega$  (в режиме обучения системы); управлением – критерий оптимальности  $Q_1$ , в качестве которого выступает минимум ошибки распознавания структурных элементов.

Входом работы 1.1.2 «Выполнить регистрацию и морфологический анализ БМС/И» (рис. 3) является множество БМС/И, которые регистрируются у пациента; выходами – найденные структурные элементы  $\omega^p$ .

Входами работы 1.1.3 «Сформировать множество диагностических признаков» (рис. 3) являются выходы работы 1.1.1 и множество возможных диагностических признаков (множество первичных признаков) в заданной предметной области медицины, которые регистрируются непосредственно у пациента, исключая анализ БМС/И; выходом – формализованное представление диагностических признаков  $X$ . Работа 1.1.3 реализует также алгоритмы вычисления вторичных диагностических признаков при анализе параметров структурных элементов  $\omega$ .

Входами работы 1.1.4 «Сформировать век-

тор диагностических признаков пациента» являются выходом работы 1.1.2 и множество первичных диагностических признаков, которые регистрируются у пациента; выходом – вектор значений диагностических признаков  $X^p$  пациента после их предварительной обработки (восстановление пропущенных данных, приведение к одной шкале, нормализация и



Рис. 3. Декомпозиция работы 1.1 «Формирование вектора диагностических признаков»

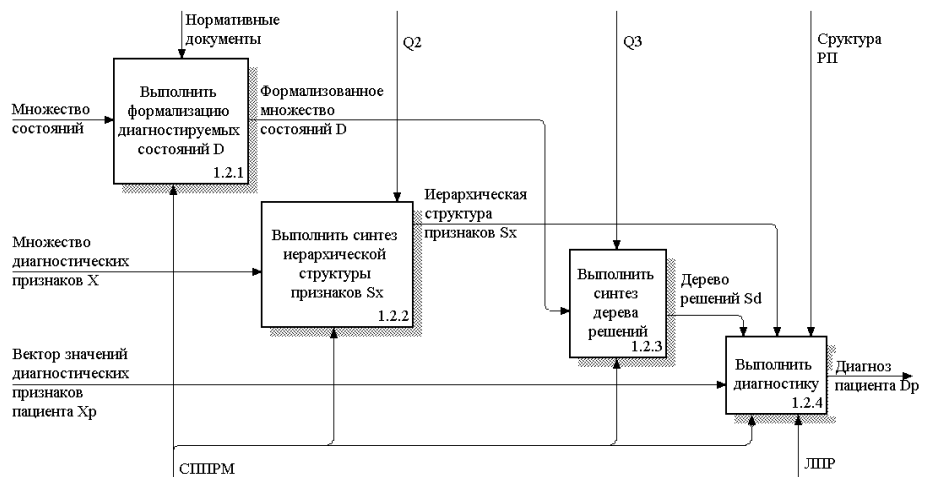


Рис. 4. Декомпозиция работы 1.2 «Постановка диагноза»

т.д.). Управління роботи 1.1.4 являється виходом роботи 1.1.3.

Входом роботи 1.2.1 «Виконати формалізацію діагностических состояний  $D$ » (рис. 4) являється множество возможных состояний (діагнозов) в заданной предметной области медицины, виходом – их формализованное представление  $D$  (в режиме обучения системы).

Работы 1.2.2 и 1.2.3 выполняются только в режиме обучения системы (рис. 4).

Входом работы 1.2.2 «Виконати синтез ієрархічної структури  $S_X$ » (рис. 4) являється виход роботи 1.1.3 (рис. 4); виходом – ієрархічна структура інформативних діагностических признаков  $S_X$  согласованная с структурой  $S_D$  (см. далее). Управление – комплексный критерий оптимизации  $Q_2$ , который включает частные критерии: критерий кластеризации и критерий информативности.

Входом работы 1.2.3 «Виконати синтез дерева решений» (рис. 4) являється виход работы 1.2.1; виходом – ієрархічна структура діагностических состояний  $S_D$  (дерево решений). Управление – критерий оптимизации  $Q_3$  в виде критерия кластеризации состояний  $D$  в пространстве признаков  $X$ .

Входом работы 1.2.4 «Виконати діагностику» являється виход работы 1.1.4 (рис. 1); виходом – развернутый диагноз  $D^p$  пациента. Управление – выходы работ 1.2.2 и 1.2.3, а также структура диагностического решающего правила (РП). Работа 1.2.4 в формализованном виде являється задачей классификации состояния пациента  $D^p$  при анализе вектора диагностических признаков  $X^p$ .

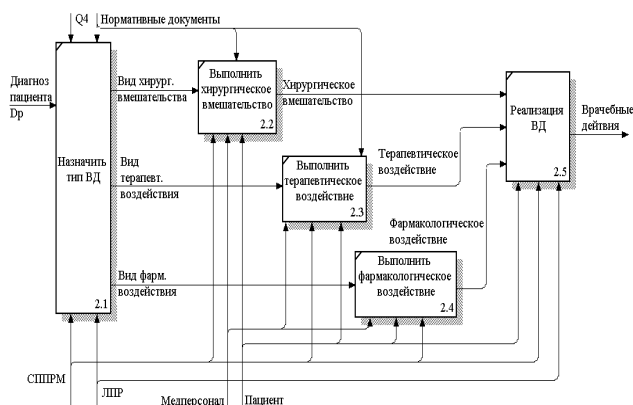


Рис. 5. Декомпозиция работы 2 «Выполнить необходимые врачебные действия»

Входом работы 2.1 «Назначить тип ВД» (рис. 5) являється виход работы 1.2.4 (рис. 4); выходы – типы необходимых ВД (хирургическое вмешательство, фармакологическое, лечебно-терапевтическое воздействие, реабилитационные мероприятия или их комбинации). Управление – нормативная документация и критерий оптимальности  $Q_4$ , в качестве которого используется интегральный критерий в задаче выбора альтернатив.

Входами работ 2.2, 2.3 и 2.4 (рис. 5) являється соответствующие выходы работы 2.1; выходами – реализации соответствующих ВД с учетом индивидуальных особенностей пациента, противопоказаний к отдельным ВД и многокритериального выбора аналогов (при реализации фармакологического воздействия).

Входами работы 2.5 «Реализация ВД» (рис. 5) являються выходы работ 2.2, 2.3 и 2.4; виходом – назначение ВД пациенту.

Предложенная функциональная модель ДЛМ являється основой для разработки структурной и математической модели, а также структуры системы поддержки принятия решений в медицине.

## Выводы

Разработана информационная технология поддержки принятия решений при проведении ДЛМ на основе формализации этапов и разработки функциональной модели процесса диагностики и врачебных действий при их комплексной оценке, что позволяет минимизировать риски врачебных ошибок, повысить достоверность и обоснованность решений.

Предложенные функциональная, структурная и математическая модели дала возможность разработать обобщенную структурную схему СППРМ процесса ДЛМ. Модульный принцип построения системы позволяет не только легко модернизировать существующие модули, но и добавлять новые модули, необходимые для интеграции специализированного программного обеспечения в уже существующие системы и комплексы.

Дальнейшие исследования направлены на использование более сложного представления врачебных действий, включая при необходимости ранговые и числовые компоненты, формируя соответствующее пространство при реализации других видов лекарственных действий (хирургическое вмешательство, лечебно-терапевтическое воздействие, реабилитационные мероприятия).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кобринский Б.А. Системы поддержки принятия решений в здравоохранении и обучении / Б.А. Кобринский // Врач и информационные технологии, 2010, 2: 39–45.
2. Поворознюк А. И. Системы поддержки принятия решений в медицинской диагностике. Синтез структурированных моделей и решающих правил / А. И. Поворознюк – Saarbrücken Germany: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, 2011. – 314 с.
3. Кобринський Б. А. Ретроспективний аналіз медичних експертних систем / Б. А. Кобринський // Новини штучного інтелекту. – 2005. – № 2. – С. 6–18.
4. Доан Д.Х., Крошилин А.В., Крошилина С.В. Обзор подходов к проблеме принятия решений в медицинских информационных системах в условиях неопределенности. Фундаментальные исследования, 2015, 12 (1): 26–30.
5. Innocent P.R. Fuzzy Methods and Medical Diagnosis / P.R. Innocent, R.I. John, J.M. Garibaldi // The Centre for Computational Intelligence Department of Computer Science De Montfort University, Leicester, UK. – 2004. – С. 4–17.

6. Sadegh-Zadeh K. The Logic of Diagnosis / K. Sadegh-Zadeh // Philosophy of Medicine – 2011. – P. 357–424.
7. Ceylana R. A novel approach for classification of ECG arrhythmias: Type-2 fuzzy clustering neural network / R. Ceylana, Y. Özbaya, B. Karlik // Expert Systems with Applications. – 2009. – Vol. 36 (3). – P. 6721–6726.
8. Trends in the growth of literature of telemedicine: A bibliometric analysis / Yang Y. T., Iqbal U., Horn-Yu Ching J. [et al.] / Computer Methods and Programs in Biomedicine – Vol. 122 (3) – 2015. – P. 471–479.
9. Владимирский А. В. Телемедицина : монография / А. В. Владимирский. – Донецк: ООО «Цифровая типография», 2011. – 437 с.
10. Hwang D. Monitoring Progress and Adherence with Positive Airway Pressure Therapy for Obstructive Sleep Apnea: The Roles of Telemedicine and Mobile Health Applications / D. Hwang // Sleep Medicine Clinics – Vol. 11 (2) – 2016. – P. 161–171.
11. Файнзильберг Л., Сорока Т. Разработка телемедицинской системы для дистанционного мониторинга сердечной деятельности на основе метода фазографии. Восточно-Европейский журнал передовых технологий, 2015, vol. 6, № 9(78): 37–46. DOI: 10.15587/1729–4061.2015.55004.
12. Файнзильберг Л. С. Обобщенный метод обработки циклических сигналов сложной формы в многомерном пространстве параметров / Л. С. Файнзильберг // Проблемы управления и информатики. – 2015. – № 2. – С. 58–71.
13. Trzupsek M. Intelligent image content semantic description for cardiac 3D visualisations / M. Trzupsek, M. R. Ogiela, R. Tadeusiewicz // Engineering Applications of Artificial Intelligence – Vol. 24 (8) – 2011. – P. 1410–1418.
14. Рациональна діагностика та лікування в дерматології та венерології / За ред. І.І. Маврова // Довідник лікаря Дерматолог – Венеролог. – К.: ТОВ "Доктор-Медіа", 2007. – 344 с.
15. Компендиум 2015 – лекарственные препараты /Под ред. В.Н. Коваленко, А.П. Викторова. [Электронный ресурс] <http://www.compendium.com.ua>.

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. К. С. Козелкова,

Державний університет телекомунікацій, Київ

Received (Надійшла) 25.01.2019

Accepted for publication (Прийнята до друку) 27.03.2019

#### **Розробка функціональної моделі етапів діагностично-лікувальних заходів в системах підтримки прийняття рішень в медицині**

А. І. Поворознюк, О. А. Поворознюк, Г. Р. Мумладзе

**Предметом** вивчення в статті є комплекс діагностично-лікувальних заходів (ДЛЗ). Метою даного дослідження є формалізація етапів діагностично-лікувальних заходів при проектуванні комп'ютерних систем підтримки прийняття рішень в медицині. **Завдання:** формалізувати задачу комплексної оцінки етапів ДЛЗ, визначити безлічі входів, виходів і керуючих впливів кожного етапу ДЛЗ, розробити функціональну модель процесу ДЛЗ і виконати її декомпозицію. Для досягнення цілей в роботі використовуються: **методологія** функціонального моделювання IDEF0 для побудови функціональної моделі; **методи** морфологічного аналізу для виділення діагностично-значущих структурних елементів біомедичних сигналів та зображень; **методи** кластеризації для синтезу ієрархічних структур діагностованих станів (дерева рішень) і діагностичних ознак; **методи** теорії інформації для синтезу структури інформативних ознак; **методи** теорії прийняття рішень для синтезу діагностичного вирішального правила. **Висновки.** Наукова новизна полягає в наступному: розроблено функціональну модель діагностико-лікувальних заходів, яка є основою для розробки структурної і математичної моделі, а також для розробки структури системи підтримки прийняття рішень при проведенні діагностично-лікувальних заходів, що в кінцевому підсумку призводить до підвищення ефективності надання медичних послуг і мінімізації ризиків лікарських помилок. Подальші дослідження спрямовані на використання більш складного уявлення лікарських дій, включаючи при необхідності рангові і числові компоненти, формуючи відповідне простір при реалізації інших видів лікарських дій.

**Ключові слова:** комп'ютерна система, підтримка прийняття рішень, діагностика, лікарське дія, функціональна модель, діагностична ознака, вирішальне правило.

#### **Functional model of stages of diagnostic and treatment measures development in decision science support in medicine**

A. Povoroznyuk, O. Povoroznyuk, H. Mumladze

The **subject matter** of the article is the complex of diagnostic and treatment measures. The **goal** of this research is to formalize the stages of diagnostic and treatment measures while designing the computing system to support the decision science in medicine. The **tasks** to be solved are: to formalize the task of comprehensive assessment of the stages of diagnostic and treatment measures, to determine the set of inputs, outputs and control actions for every stage of diagnostic and treatment measures, to develop a functional model of diagnostic and treatment measures process and perform its decomposition. To reach the set goal the following methods were used while the research: IDEF0 functional modeling **methodology** to produce functional model, **methods** of morphological analysis for diagnostically significant structural elements of biomedical signals and images selection, **methods** of clusterization for the synthesis of hierarchical structures of diagnosable states (decision tree) and diagnostic properties, **methods** of information science for the synthesis of the structure of informative properties, **methods** of decision science for the synthesis of diagnostic decision rule. **Conclusions.** The scientific novelty consists in the following: a functional model of diagnostic and treatment measures has been developed, which is the basis for developing a structural and mathematical model, as well as for developing a structure to support decision science for diagnostic and treatment measures, which ultimately leads to the medical services efficiency increase and minimizes the risks of medical malpractice. Further research is aimed at using a more complex presentation of medical actions, including, if necessary, ranking and numerical components, forming an appropriate space when implementing other types of medical actions.

**Keywords:** computing system, support decision science, diagnostics, medical action, functional model, diagnostic property, decision rule.