

МАТЕМАТИЧНЕ І КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

MATHEMATICAL AND COMPUTER MODELING

DOI: 10.20998/2079-0023.2024.02.07

УДК 004.9

К. Е. ПЕТРОВ, доктор технічних наук, професор, Харківський національний університет радіоелектроніки, завідувач кафедри інформаційних управляючих систем, м. Харків, Україна; e mail: kostiantyn.petrov@nure.ua; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1973-711X>

Т. В. ЧАЛИЙ, Харківський національний університет радіоелектроніки, аспірант кафедри інформаційних управляючих систем, м. Харків, Україна; e mail: taras.chalyi@nure.ua; ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-3796-5810>

СИТУАЦІЙНА МОДЕЛЬ МЕДИЧНОГО БІЗНЕС-ПРОЦЕСУ

Предметом дослідження є медичні бізнес-процеси. Мета роботи полягає у розробці ситуаційного підходу до моделювання узагальненого медичного бізнес-процесу. Досягнення мети дає можливість забезпечити заданий рівень медичних послуг при наявних ресурсних обмеженнях медичного бізнес-процесу. Для досягнення мети вирішуються такі задачі: структуризація медичних бізнес-процесів з урахуванням відмінностей лікування в клініці, догляду, та повного процесу лікування пацієнтів; розробка ситуаційної моделі медичного бізнес-процесу. Виконано структуризацію медичних бізнес-процесів. Показано, що такі процеси складаються із клінічного шляху, шляху догляду та шляху лікування захворювання. Клінічний шлях реалізується в межах одного медичного закладу. Шлях догляду визначає комплексний опис послідовності догляду та лікування. Повний шлях лікування захворювання інтегрує різні заклади охорони здоров'я. Шлях лікування включає клінічний шлях та шлях догляду в якості підпроцесів. Запропоновано ситуаційну модель узагальненого медичного бізнес-процесу, що складається із послідовності ситуацій. Кожна ситуація передбачає вибір з урахуванням ресурсних, фінансових та темпоральних обмежень, та подальше виконання послідовності дій медичного бізнес-процесу. Модель, у відповідності до представленої структуризації медичних бізнес-процесів, на верхньому рівні представлення містить фази первинної медичної допомоги, амбулаторного лікування, клінічного шляху та виписки й реабілітації. Модель створює умови для вибору індивідуалізованого процесу лікування з урахуванням потреб пацієнта та темпоральних і ресурсних обмежень. Типова послідовність дій медичного бізнес-процесу визначається на рівні множини ситуацій, а вибір альтернатив здійснюється в межах ситуації. Послідовність ситуацій задає загальний стандарт догляду або лікування, а індивідуалізація виконується в рамках окремих ситуацій з урахуванням потреб пацієнта та фінансових обмежень.

Ключові слова: медичний бізнес-процес, ситуаційна модель, клінічний шлях, шлях догляду, шлях лікування захворювання, ресурсні обмеження, темпоральні обмеження, індивідуалізоване лікування.

Вступ. Бізнес-процес представляє собою послідовність взаємопов'язаних процедур, що створюють продукт (послугу), яка має цінність для споживача [1].

Управління бізнес-процесами, або процесний підхід до управління включає аналіз діяльності організації, побудову та імплементацію моделей бізнес-процесів, а також моніторинг процесів та подальше удосконалення процесних моделей [2]. Моделі бізнес-процесів відображають взаємозв'язки між процедурами (діями) процесу з урахуванням наявних ресурсів.

Медичні бізнес-процеси (МБП) інтегрують багатаспектні дії з надання медичної допомоги, починаючи від реєстрації пацієнта та до виписки й подальшого спостереження за пацієнтом [3]. МБП включають діагностичні, лікувальні, реабілітаційні та адміністративні процедури, що орієнтовані на забезпечення якісної медичної допомоги. Особливість медичних бізнес-процесів полягає у необхідності врахувати індивідуальні особливості кожного пацієнта, що потребує їх адаптації у процесі лікування [4].

Побудова МБП з позицій якості послуг орієнтована на зменшенню медичних помилок, скорочення

часу очікування послуг пацієнтами, підтримку координації між медичними закладами та підвищення рівня задоволеності пацієнтів. Моделювання МБП у фінансовому аспекті орієнтовано на вирішення задачі оптимізації використання ресурсів закладу охорони здоров'я, зменшення операційних витрат, підвищення ефективності роботи персоналу та покращення фінансових показників в цілому [5].

Таким чином, побудова та подальше використання моделей медичних бізнес-процесів дає можливість підвищити ефективність надання медичних послуг, узгодивши вимоги користувача та можливості медичного закладу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Сучасні підходи до моделювання бізнес-процесів орієнтовані на формування набору можливих послідовностей дій, що забезпечують досягнення результатів процесу. Послідовність дій бізнес-процесу зазвичай моделюється як набір активностей (процедур) та підпроцесів. Життєвий цикл процесу включає визначення цілей, планування, виконання, тестування, впровадження та моніторинг [6]. Для візуалізації процесів ви-

© К.Е. Петров, Т.В. Чалий, 2024



Дослідницька стаття: Цю статтю опубліковано видавництвом *НТУ «ХПИ»* у збірнику «Вісник Національного технічного університету «ХПИ» Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології». Ця стаття поширюється за міжнародною ліцензією [Creative Common Attribution \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/). Конфлікт інтересів: Автор/и заявив/или про відсутність конфлікту.



користовується нотація BPMN, яка представляє собою стандартизовану мову для опису складних процесів [7].

При моделюванні послідовностей процедур бізнес-процесів зазвичай виділяють базовий шлях, альтернативні послідовності дій та варіанти винятків. Базовий шлях відображає типову стандартизовану послідовність дій, яка буде реалізована у більшості імплементацій бізнес-процесу. Альтернативні шляхи описують типові відхилення від стандартного процесу. Варіанти винятків описують разові відхилення [8].

Для оцінки ситуацій із альтернативними сценаріями та їх потенційних результатів при побудові моделей бізнес-процесів використовуються контрфакти, тобто альтернативні факти, які можуть бути розглянуті як вхідні та проміжні дані бізнес-процесу. Контрфактичний аналіз дає можливість виявити причини вибору послідовності дій процесу [9].

Медичні бізнес-процеси забезпечують стандартизацію процесів лікування межах одного закладу, стандартизацію догляду та стандартизацію процесу лікування, що відбувається у різних медичних закладах [2, 5, 10].

Проведений в [2] аналіз показав важливість вдосконалення МБП з урахуванням ресурсних та фінансових обмежень.

Декларативний підхід до моделювання МБП з використанням технології process mining, запропонований в [1], показав можливість адаптації процесних моделей з урахуванням темпоральних та ресурсних обмежень.

Таким чином, наявне протиріччя між потребою забезпечення якісної охорони здоров'я з урахуванням фінансових та ресурсних обмежень та можливостями існуючих методів з побудови жорстко визначених послідовностей дій МБП потребує розробки гнучких ситуаційних моделей таких процесів з можливостями оцінки та динамічної зміни послідовності дій на основі контрфактичного аналізу. Зазначене свідчить про актуальність теми даного дослідження.

Мета та задачі дослідження. Мета роботи полягає у розробці ситуаційного підходу до моделювання узагальненого медичного бізнес-процесу з тим, щоб врахувати можливості вибору альтернативних рішень при клінічному лікуванні, догляді та у процесі лікування захворювання в цілому.

Вирішення цієї задачі орієнтовано на вибір раціонального рішення, що дає можливість забезпечити заданий рівень медичних послуг при наявних ресурсних обмеженнях медичного бізнес-процесу.

Для досягнення мети вирішуються наступні задачі:

- структуризація медичних бізнес-процесів з урахуванням відмінностей лікування в клініці, догляду та повного процесу лікування пацієнтів;
- розробка ситуаційної моделі медичного бізнес-процесу.

Структуризація медичних бізнес-процесів.

Бізнес-процеси у сфері охорони здоров'я включають: клінічний шлях (clinical pathway); шлях догляду (care pathway); шлях лікування захворювання (transmural pathway). Ці бізнес-процеси реалізують різні за

масштабом підходи до надання медичної допомоги. Порівняльна характеристика цих бізнес-процесів представлена в табл. 1.

Клінічний шлях визначає та реалізує мультидисциплінарний план догляду для конкретних клінічних проблем в межах одного медичного закладу. Цей процес містить стандартизовану послідовність клінічних процедур для конкретного захворювання та є короткотривалим. Клінічний шлях реалізується в межах одного медичного закладу, такого як лікарня або клініка.

Шлях догляду визначає комплексне рішення щодо послідовності догляду та організації процесів медичного огляду, включаючи амбулаторне лікування, реабілітацію та подальший нагляд.

Шлях догляду є довгостроковим процесом та реалізується в ряді закладів, включаючи лікарні, амбулаторні заклади та заклади реабілітації.

Таблиця 1 – Відмінності клінічного шляху, шляху догляду та шляху лікування захворювання

Характеристика	Опис
1. Заклади, де виконується МБП	1) клінічний шлях – в межах одного медичного закладу, наприклад лікарня, клініка; 2) шлях догляду – в межах декількох медичних закладів – лікарня, амбулаторні заклади, заклади реабілітації; 3) шлях лікування захворювання – медичні заклади та домашнє лікування: лікарня, амбулаторні заклади, заклади реабілітації, первинна медична допомога, домашній догляд.
2. Охоплення на рівні підпроцесів	1) клінічний шлях – конкретний клінічний епізод; 2) шлях догляду – повний процес догляду за пацієнтом; 3) шлях лікування захворювання – міжорганізаційний процес, що інтегрує догляд між різними рівнями медичної допомоги.
4. Тривалість	1) клінічний шлях – короткострокова; 2) шлях догляду – довгострокова; 3) шлях лікування захворювання – довгострокова.
5. Загальне призначення	1) клінічний шлях – стандартизація лікування в межах медичного закладу; 2) шлях догляду – підтримка координації та комунікації впродовж медичного обслуговування; 3) шлях лікування захворювання – інтеграція догляду між різними закладами охорони здоров'я.

Шлях лікування захворювання представляє собою інтегрований шлях догляду, що охоплює різні заклади охорони здоров'я. Цей підхід забезпечує безперервність догляду між різними рівнями медичної допомоги, включаючи первинну, вторинну та третинну ланки. Шлях лікування є довгостроковим процесом та харак-

теризується організацією міждисциплінарної співпраці. Він реалізується в таких закладах, як лікарні, амбулаторні заклади, заклади реабілітації, ланки первинної медичної допомоги, а також включає домашній догляд.

Ситуаційна модель узагальненого медичного бізнес-процесу.

Схему послідовності процедур узагальненого медичного бізнес-процесу наведено на рис. 1. Такий процес включає шлях лікування захворювання, що містить шлях догляду в якості підпроцесу.

В свою чергу, шлях догляду в якості підпроцесу містить клінічний шлях. Останній включає передопераційний, операційний на післяопераційний етапи.

Відповідно до наведеної структури МБП, процес на верхньому рівні представлення містить 4 ситуації: первинна медична допомога (1), амбулаторне лікування (2), клінічний шлях (3) та реабілітація (4).

Ситуаційна модель B узагальненого МБП на першому (верхньому) рівні представлення складається з упорядкованого набору ситуацій S_i^1 , що мають задовольняти обмеженням Φ , а також множини даних про пацієнта до початку лікування X та після лікування Y :

$$B = \{X, \langle S_1^1, S_2^1, S_3^1, S_4^1 | \Phi \rangle, Y\}. \quad (1)$$

Обмеження Φ включають темпоральні T , ресурсні R та фінансові F складові:

$$\Phi = \{T, R, F\}. \quad (2)$$

При деталізації МБП кожна з наведених ситуацій може бути представлена у вигляді упорядкованого набору ситуацій нижнього рівня $\{S_i^2\}$.

Ключова відмінність такого ситуаційного представлення від традиційного workflow – опису полягає в тому, що типова послідовність дій визначається на рівні ситуацій, а вибір альтернатив здійснюється в межах ситуації. Тоді послідовність ситуацій задає загальний стандарт догляду або лікування, а індивідуалізація виконується на рівні ситуацій з урахуванням наявного досвіду, потреб пацієнта та фінансових обмежень. Кожна ситуація може бути представлена як набір послідовностей D_i дій $d_{i,k}$ з оцінкою потреб в ресурсах W_i за умови темпоральних обмежень T_i :

$$S_i^1 = \{D_i : (\forall l) \exists W_l | T_l\}. \quad (3)$$

Розглянемо приклад використання даної моделі для фрагменту стоматологічного МБП. В даному випадку вхідні дані будуть представлені характеристиками стану зубів пацієнта, що потребують лікування або протезування. Ситуація містить альтернативи D_i , пов'язані із протезуванням або лікуванням різної вартості, наприклад з використанням технологій різних постачальників (коронки, імпланти тощо). Кожна технологія передбачає свою послідовність дій в рамках визначеної ситуації. Для кожної технології може бути надано оцінку вартості та часу. Вибір варіанту ліку-

вання здійснюється на основі оцінки вартості з урахуванням обмежень на час лікування, які задовольняють пацієнта та які може реалізувати клініка.

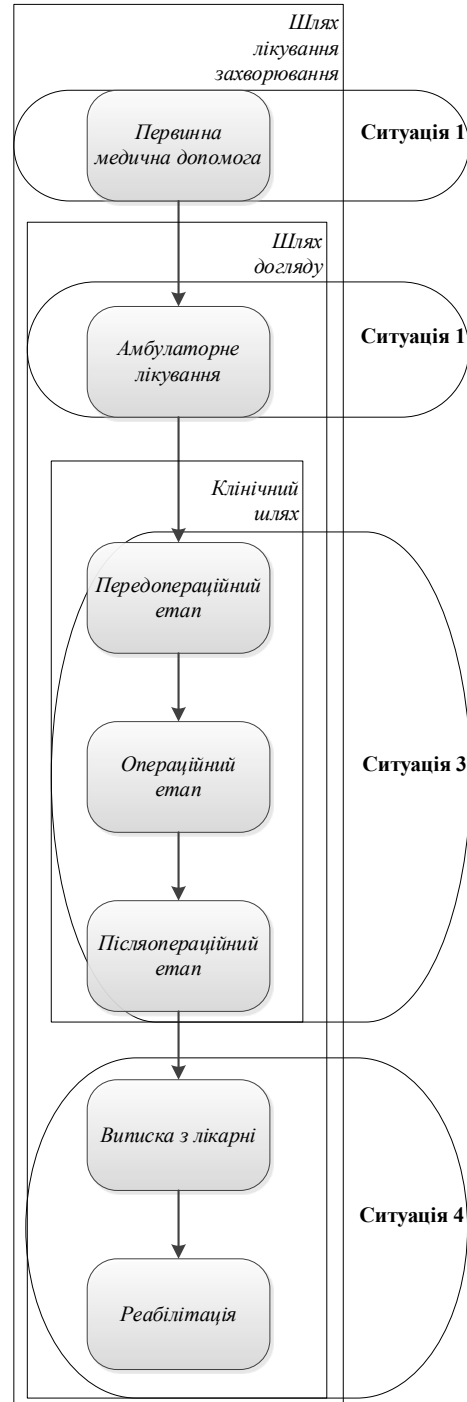


Рис. 1. Ситуаційне представлення та послідовність процедур узагальненого медичного бізнес-процесу

Висновки. Виконано структурування медичних бізнес-процесів. Показано, що такі процеси складаються із клінічного шляху, шляху догляду та шляху лікування захворювання, причому останній включає клінічний шлях та шляху догляду як підпроцеси.

Запропоновано ситуаційну модель узагальненого медичного бізнес-процесу, що складається із послі-

довності ситуацій. Кожна ситуація передбачає вибір з урахуванням ресурсних, фінансових та темпоральних обмежень, та подальше виконання послідовності дій медичного бізнес-процесу. Запропонована модель, у відповідності до представленої структуризації медичних бізнес-процесів, містить фази первинної медичної допомоги, амбулаторного лікування, клінічного шляху та виписки й реабілітації. Модель створює умови для вибору індивідуалізованого процесу лікування з урахуванням потреб пацієнта та з урахуванням темпоральних та ресурсних обмежень закладу охорони здоров'я.

Список використаної літератури

1. Patharkar A., C., Cai F., B., Zardiniy A., Al-Hindawi F., Wu T. Predictive modeling of biomedical temporal data in healthcare applications: review and future directions. *Frontiers in Physiology 15. Sec. Computational Physiology and Medicine*, 2024. Vol. 15. DOI: 10.3389/fphys.2024.1386760.
2. Van der Aalst W. Business Process Management: A Comprehensive Survey. *ISRN Software Engineering*, 2013. P. 1-37. DOI:1155/2013/507984.
3. Rasoli N., Jolai F. Mehdi M., Tehranian A. BPM application in clinical process improvement: a women 'hospital case study. *Business Process Management Journal*, 2024. Vol. 30(3). P. 986-1011. DOI: 10.1108/BPMJ-07-2023-0560.
4. Petrocelli John V. Pitfalls of Counterfactual Thinking in Medical Practice: Preventing Errors by Using More Functional Reference Points. *Journal of Public Health Research*, 2013. Vol. 2:e24. P. 136-143.
5. De Ramón Fernández A., Ruiz Fernández D., Sabuco García Y. Business Process Management for optimizing clinical processes: A systematic literature review. *Health Informatics Journal*, 2020. Vol. 26(1). P. 1305-1320. DOI: 10.1177/1460458219877092.
6. Dumas M., La Rosa M., Mendling J., Reijers H.A. *Fundamentals of Business Process Management*. Berlin: Springer, 2018. 527 p.
7. Chinosi M., Trombetta A. BPMN: An introduction to the standard. *Computer Standards & Interfaces*, 2012. Vol. 34. P. 124-134.

8. Van der Aalst W. *Process Mining: Data Science in Action*. 2nd ed. Berlin: Springer, 2016. 467 p.
9. Pearl J., Mackenzie D. *The Book of Why: The New Science of Cause and Effect*. New York: Basic Books, 2018. 432 p.
10. Byscher A., Kugler J. The effectiveness of clinical pathways in inpatient settings - an umbrella review. *Journal of Public Health*, 2024. P. 1-15. DOI: 10.1007/s10389-024-02227-w.

References (transliterated)

1. Patharkar A., C., Cai F., B., Zardiniy A., Al-Hindawi F., Wu T. Predictive modeling of biomedical temporal data in healthcare applications: review and future directions. *Frontiers in Physiology 15. Sec. Computational Physiology and Medicine*. 2024, vol. 15. DOI: 10.3389/fphys.2024.1386760.
2. Van der Aalst W. Business Process Management: A Comprehensive Survey. *ISRN Software Engineering*. 2013, pp. 1-37. DOI:1155/2013/507984.
3. Rasoli N., Jolai F. Mehdi M., Tehranian A. BPM application in clinical process improvement: a women 'hospital case study. *Business Process Management Journal*. 2024, vol. 30(3), pp. 986-1011. DOI: 10.1108/BPMJ-07-2023-0560.
4. Petrocelli John V. Pitfalls of Counterfactual Thinking in Medical Practice: Preventing Errors by Using More Functional Reference Points. *Journal of Public Health Research*. 2013, vol. 2:e24, pp. 136-143.
5. De Ramón Fernández A., Ruiz Fernández D., Sabuco García Y. Business Process Management for optimizing clinical processes: A systematic literature review. *Health Informatics Journal*. 2020, vol. 26(1), pp. 1305-1320. DOI: 10.1177/1460458219877092.
6. Dumas M., La Rosa M., Mendling J., Reijers H.A. *Fundamentals of Business Process Management*. Berlin: Springer, 2018. 527 p.
7. Chinosi M., Trombetta A. BPMN: An introduction to the standard. *Computer Standards & Interfaces*. 2012, vol. 34, pp. 124-134.
8. Van der Aalst W. *Process Mining: Data Science in Action*. 2nd ed. Berlin: Springer. 2016. 467 p.
9. Pearl J., Mackenzie D. *The Book of Why: The New Science of Cause and Effect*. New York: Basic Books. 2018. 432 p.
10. Byscher A., Kugler J. The effectiveness of clinical pathways in inpatient settings - an umbrella review. *Journal of Public Health*. 2024, pp. 1-15. DOI: 10.1007/s10389-024-02227-w.

Надійшло (received) 31.10.2024

UDC 004.9

K. E. PETROV, Doctor of Technical Sciences, Professor, Kharkiv National University of Radio Electronics, Head of the Department of Information Control Systems, Kharkiv, Ukraine; e-mail: kostiantyn.petrov@nure.ua; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1973-711X>

T. V. CHALYI, Kharkiv National University of Radio Electronics, PhD student of the Department of Information Control Systems, Kharkiv, Ukraine; e mail: taras.chalyi@nure.ua; ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-3796-5810>

SITUATIONAL MODEL OF A MEDICAL BUSINESS PROCESS

The subject of the research is medical business processes. The aim of the work is to develop a situational approach to modeling a generalized medical business process. Achieving this goal makes it possible to provide a specified level of medical services within the existing resource constraints of the medical business process. To achieve the goal, the following tasks are solved: structuring medical business processes considering the differences in treatment in the clinic, care, and the full process of patient treatment; development of a situational model of the medical business process. The structuring of medical business processes has been carried out. It is shown that such processes consist of a clinical pathway, care pathway, and disease treatment pathway. The clinical pathway is implemented within a single medical institution. The care pathway defines a comprehensive description of the sequence of care and treatment. The complete disease treatment pathway integrates various healthcare institutions. The treatment pathway includes the clinical pathway and care pathway as subprocesses. A situational model of a generalized medical business process is proposed, consisting of a sequence of situations. Each situation involves a choice considering resource, financial, and temporal constraints, and the subsequent execution of a sequence of actions of the medical business process. The model, in accordance with the presented structuring of medical business processes, at the top level of representation contains phases of primary medical care, outpatient treatment, clinical pathway, and discharge and rehabilitation. The model creates conditions for choosing an individualized treatment process considering the patient's needs and temporal and resource constraints. The typical sequence of actions of the medical business process is determined at the level of a set of situations, and the choice of alternatives is made within the situation. The sequence of situations sets the general standard of care or treatment, and individualization is performed within individual situations, taking into account the patient's needs and financial constraints.

Keywords: medical business process, situational model, clinical pathway, care pathway, transmur pathway, resource constraints, temporal constraints, individualized treatment.

Повні імена авторів / Author's full names

Автор 1 / Author 1: Петров Костянтин Едуардович / Petrov Kostiantyn Eduardovych

Автор 2 / Author 2: Чалий Тарас Володимирович / Chalyi Taras Volodymyrovych