

<https://doi.org/10.34229/mono.palagin.24.1>



9 786178 247409

Хмарна платформа пацієнт-центричної телереабілітації
онкологічних хворих на основі математичного моделювання

Палагін О.В., Стецюк П.І.

Хмарна платформа пацієнт-центричної телереабілітації онкологічних хворих на основі математичного моделювання

Колективна монографія

За редакцією

Палагіна О.В.,
Стецюка П.І.



ІНСТИТУТ КІБЕРНЕТИКИ
ІМЕНІ В.М.ГЛУШКОВА НАН УКРАЇНИ

2024

Національна академія наук України
Національний фонд досліджень України

**ХМАРНА ПЛАТФОРМА ПАЦІЄНТ-ЦЕНТРИЧНОЇ
ТЕЛЕРЕАБІЛІТАЦІЇ ОНКОЛОГІЧНИХ ХВОРИХ
НА ОСНОВІ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ**

Колективна монографія

**За редакцією Олександра ПАЛАГІНА,
Петра СТЕЦЮКА**

Інститут Кібернетики імені В. М. Глушкова НАН України
Київ-2024

Рекомендовано до друку Вченою радою Інституту кібернетики імені В. М. Глушкова
Національної академії наук України (протокол № 11 від 30.07.2024 р.)

Рецензенти: академік НАН України, В.А.Широков
доктор мед. наук, професор О.П.Мінцер

Наукові редактори – академік НАН України О.В. Палагін
чл.кор. НАН України П.І.Стецюк

Автори:
Палагін О.В., Стецюк П.І., Сергієнко І.В., Владимиров О.А., Вакуленко Д.В., Будник М. М.,
Малахов К.С., Семикопна Т.В., Симонов Д.І., Сивак О.В.

Хмарна платформа пацієнт-центричної телереабілітації онкологічних хворих на основі математичного моделювання: колект. монографія / Палагін О.В., Стецюк П.І., Сергієнко І.В., Владимиров О.А., Вакуленко Д.В., Будник М.М., Малахов К.С., Семикопна Т.В., Симонов Д.І., Сивак О.В; за ред. Палагіна О. В., Стецюка П.І.; НАН України, Нац. фонд досліджень України, Ін-т кібернетики імені В. М. Глушкова НАН України, Київ, 2024. 387 с.

DOI: 10.34229/mono.palagin.24.1

Фізична і медична реабілітація в Україні в останні роки переживає період інтенсивного розвитку. Тематика монографії присвячена одній з найактуальніших медичних проблем зростання захворюваності та смертності у всьому світі – онкологічній патології, що займає як в Україні, так і в світі друге місце після серцевих захворювань. При цьому рак молочної залози залишається найбільш поширеним новоутворенням, тому в роботі на ньому зроблено спеціальний акцент.

Інформаційно-комунікаційні технології зробили значний внесок в розвиток галузі реабілітаційної медицини, зокрема її телереабілітаційного напрямку.

Відмінною рисою пропонованої інформаційної технології і відповідної архітектури системи є поєднання в них методів штучного інтелекту з точними математичними методами оптимізації методик і всього процесу телереабілітації,

Книга розрахована на фахівців в галузі прикладних інтелектуальних технологій в медицині, спеціалістів в галузі охорони здоров'я та реабілітації, в тому числі теле- та психологічної реабілітації.

ISBN 978-617-8247-40-9

© Олександр Палагін, Петро Стецюк –
редактори, 2024
© Інститут кібернетики імені
В. М. Глушкова НАН України, 2024
© Для всіх авторів монографії, 2024

**THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF UKRAINE
NATIONAL RESEARCH FOUNDATION OF UKRAINE**

**CLOUD-BASED PLATFORM FOR PATIENT-CENTERED TELEREHA-
BILITATION OF ONCOLOGY PATIENTS WITH MATHEMATICAL-
RELATED MODELING**

Collective Monograph

**Edited by Oleksandr Palagin
Petro Stetsiuk**

V.M. Glushkov Institute of Cybernetics of the NAS of Ukraine
Kyiv, 2024

Recommended by the Academic Council of V.M. Glushkov Institute of Cybernetics of the National Academy of Sciences of Ukraine (Protocol № 11 dated 30.07.2024)

Reviewers: Academician of the National Academy of Sciences of Ukraine, V.A. Shyrokov
Doctor of Medical Sciences, Professor O.P. Mintser

Scientific Editors – Academician of the National Academy of Sciences of Ukraine O.V. Palagin
Corresponding Member of the National Academy of Sciences of Ukraine P.I. Stetsiuk

Authors: Oleksandr Palagin, Petro Stetsiuk, Ivan Sergienko, Oleksandr Vladymyrov,
Dmytro Vakulenko, Mykola Budnyk, Kyrilo Malakhov, Tetiana Semykopna, Denys Symonov, Oksana Syvak.

Cloud Platform for Patient-Centric Telerehabilitation of Cancer Patients Based on Mathematical Modeling: Collective Monograph / Palagin O.V., Stetsiuk P.I., Sergienko I.V., Vladymyrov O.A., Vakulenko D.V., Budnyk M.M., Malakhov K.S., Semykopna T.V., Symonov D.I., Syvak O.V.; edited by Palagin O.V., Stetsiuk P.I.; National Academy of Sciences of Ukraine, National Research Foundation of Ukraine, V.M. Glushkov Institute of Cybernetics of the National Academy of Sciences of Ukraine. Kyiv, 2024. 387 p.
DOI: 10.34229/mono.palagin.24.1

PUBLISHER: V. M. Glushkov Institute of Cybernetics of the NAS of Ukraine;
2024, Kyiv, Ukraine;
First edition;
Printed in Ukraine.

Physical and medical rehabilitation in Ukraine has been experiencing a period of intensive development in recent years. The focus of the monograph is on one of the most urgent medical challenges globally – the rising incidence and mortality rates of oncological diseases, which rank second only to heart diseases both in Ukraine and worldwide. Breast cancer remains the most prevalent malignancy, thus the work places a special emphasis on it.

Information and communication technologies have significantly contributed to the development of the field of rehabilitation medicine, particularly its telerehabilitation sector.

A distinctive feature of the proposed information technology and the corresponding system architecture is the integration of artificial intelligence methods with precise mathematical optimization techniques for methodologies and the entire telerehabilitation process.

The book is intended for specialists in the field of applied intelligent technologies in medicine, as well as professionals in healthcare and rehabilitation, including tele- and psychological rehabilitation.

ISBN 978-617-8247-40-9

All Rights Reserved
© 2024 V. M. Glushkov Institute of Cybernetics of the NAS of Ukraine - Publisher
© 2024 Oleksandr Palagin, Petro Stetsiuk – Editors
© 2024 For all authors of the monograph
<https://doi.org/10.34229/mono.palagin.24.1>

Зміст

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, ОДИНИЦЬ І ТЕРМІНІВ	13
ВСТУП.....	16
1 РОЗРОБЛЕННЯ ВИМОГ ДО МЕТОДИЧНИХ ЗАСОБІВ ТРП ДЛЯ ОНКОЛОГІЧНИХ ХВОРИХ.....	21
1.1 Загальні положення.....	21
1.2 Формування вимог до сучасних телереабілітаційних систем ...	22
1.3. Аналіз світових тенденцій в телереабілітації онкологічних хворих	25
1.4. Розроблення медико-технічних вимог до діагностичних і відновлювальних методів та засобів телереабілітації	31
1.5 Уточнення методів та засобів телереабілітації для пацієнтів із раком молочної залози. Функції контролю в телереабілітації.....	37
1.6 Розроблення загальної методики телереабілітації онкохворих. Реабілітаційні втручання в телереабілітації	43
1.7 Висновки до розділу	48
Список використаної літератури розділу 1.....	50
2 РОЗРОБЛЕННЯ АРХІТЕКТУРИ ТЕЛЕРЕАБІЛІТАЦІЙНОЇ ПЛАТФОРМИ (ТРП)	58
2.1 Розроблення технічних вимог до архітектури ТРП.....	58
2.1.1 Обґрунтування вимог до архітектури ТРП.....	58
2.1.2 Порядок надання медичної допомоги із застосуванням телемедицини (Наказ № 1695 від 17.09.2022 р.)	61
2.1.3 Загальні вимоги до архітектури ТРП	62

2.1.4 Трирівнева модель хмарної платформи телереабілітації онкологічних хворих	69
2.2 Висновки до розділу.....	74
Список використаної літератури розділу 2.....	74
3 ІНФОРМАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНА ПІДТРИМКА ПРОГРАМИ ТЕЛЕРЕАБІЛІТАЦІЇ ПАЦІЄНТІВ, ХВОРИХ НА РМЗ.....	76
3.1 Алгоритмізація процесу реабілітації з урахуванням фазових обмежень на реабілітаційну програму	76
3.2 Структурний опис ТРП.....	79
3.3 Робочий кабінет лікаря ФРМ	80
3.3.1 Планування, компонування та оцінка ефективності реабілітаційної програми	89
3.3.2 Робота з ідентифікованими пацієнтами згідно з вимогами ЕСОЗ	91
3.4 Особистий кабінет пацієнта	92
3.5 Модуль Медичні висновки.....	95
3.6 Адміністративна підсистема	96
3.7 Теледіагностика	97
3.7.1 Організація проведення теледіагностики	100
3.7.2 Реєстрація артеріальної осцилограми вимірювачем АТ	102
3.7.3 Реєстрація електрокардіограми.....	106
3.7.4 Оцінки стану постави та рухомості суглобів	107
3.7.5 Проведення функціональних проб	109
3.8 Експертна система.....	111
3.8.1 Експертна система лікаря ФРМ.....	111
3.8.2 Експертна система пацієнта	112

3.9	Висновки до розділу	114
	Список використаної літератури розділу 3.....	115
4	РОЗРОБЛЕННЯ ІНТЕРФЕЙСНОЇ ТА МЕРЕЖЕВОЇ СКЛАДОВИХ ДЛЯ ІНФОРМАЦІЙНО-АНАЛІТИЧНОЇ ПІДСИСТЕМИ	118
4.1	Розроблення інтерактивної діалогової інформаційно-довідкової системи з тематики фізичної і реабілітаційної медицини (ФРМ) MedRehabBot 121	
4.1.1	Технічні вимоги до системи MedRehabBot	121
4.1.2	Інформаційна модель та інструментарій розробника системи MedRehabBot.....	131
4.1.3	Автоматизоване створення бази знань з використанням комп'ютерних онтологій.....	134
4.1.4	Первинна обробка набору вихідних PDF документів	137
4.1.5	Розроблення OWL-опису для графової бази знань.....	137
4.2	Програмна реалізація системи MedRehabBot.....	142
4.2.1	Програмне серверне ядро системи MedRehabBot.....	143
4.2.2	Первинна обробка текстових природномовних повідомлень користувача	143
4.2.3	Формування SPARQL-запитів і взаємодія з базою знань	145
4.2.4	Формування структурованої природномовної відповіді.....	147
4.2.5	Графічний інтерфейс користувача системи MedRehabBot у вигляді Телеграм-боту	149
4.2.6	Прикладний програмний інтерфейс API системи MedRehabBot 152	
4.3	Висновки до розділу	158
4.4	Доступ до даних	159

Список використаної літератури розділу 4.....	160
5 МЕТОДИ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЇ В ГАЛУЗІ ТЕЛЕРЕАБІЛІТАЦІЇ.....	163
5.1 Математичне моделювання процесу реабілітації	164
5.2 Технічні вимоги до функціоналу хмарної системи.....	174
5.3 Реєстр інформації та вимог до якості даних	182
5.4 Технічні вимоги до процедури ETL даних	186
5.5 Основні функціональні напрями супроводу процесу реабілітації 191	
5.6 Автоматизація процесів планування реабілітації за допомогою TaskFlow Optimizer	195
5.6.1. Функції програмного модуля TaskFlow Optimizer.....	196
5.6.2. Архітектура програмного модуля TaskFlow Optimizer	198
5.6.3 Перспективи розвитку програмного модуля TaskFlow Optimizer 201	
5.7 Висновки до розділу.....	201
Список використаної літератури розділу 5.....	202
6 РОЗРОБЛЕННЯ МЕТОДІВ НЕГЛАДКОЇ ТА ДИСКРЕТНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ ДЛЯ МОДЕЛЕЙ РЕАБІЛІТАЦІЙНОГО ПРОЦЕСУ	205
6.1 r -Алгоритм з адаптивним кроком та негладкі штрафні функції 205	
6.1.1 $r(\alpha)$ -Алгоритм з адаптивним кроком та програма ralg5a ...	205
6.1.2 Метод негладких штрафних функцій.....	210
6.2 Параметризований метод еліпсоїдів.....	214
6.2.1 В-форма параметризованого методу еліпсоїдів.....	215
6.2.2 Приклади застосування параметризованого методу еліпсоїдів	

6.2.3	Octave програма emshor.....	220
6.3	Методи локального пошуку	224
6.3.1	Метод вектора спаду	224
6.3.2	Метод глобального рівноважного пошуку	229
6.4	Висновки до розділу	235
	Список використаної літератури розділу 6.....	236
7	РОЗРОБЛЕННЯ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ОРГАНІЗАЦІЇ РЕАБІЛІТАЦІЙНОГО ПРОЦЕСУ.....	238
7.1	Інструменти та методи для моделювання процесу прогнозування	239
7.1.1	Метод еліпсоїдів для пошуку параметрів лінійної регресії.....	240
7.1.2	Прогнозування психологічних індикаторів стану пацієнта на основі кардіологічних даних	243
7.1.3	Аналіз узгодженості масиву даних	249
7.2	Моделі ЛП-задачі та регресії з використанням ϵ -алгоритму ...	252
7.2.1	Використанням ϵ -алгоритму для спеціальної ЛП-задачі	253
7.2.2	ϵ -Алгоритм для навчання моделей лінійної регресії	256
7.3	Інструменти та методи для моделювання процесу вирішення задач булевого програмування.....	259
7.3.1	Послідовні алгоритми ГРП	260
7.3.2	Паралельні алгоритми ГРП	269
7.4	Моделювання задач оцінок відносної важливості елементів систем в МАІ.....	273
7.5	Вирішення оптимізаційних задач пацієнтоцентричних реабілітаційних програм	276

7.5.1	Задачі оптимального вибору втручань для реабілітаційної програми пацієнта	276
7.5.2	Задачі оптимального вибору фахівців для реабілітаційної програми	282
7.5.3	Задача вибору фахівців для реабілітаційної програми заданої вартості	288
7.6	Висновки до розділу.....	293
	Список використаної літератури розділу 7.....	295
8	РОЗРОБЛЕННЯ МЕТОДИЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ З ТЕЛЕРЕАБІЛІТАЦІЇ ХВОРИХ НА РМЗ.....	300
8.1	Постмастектомічний синдром та клінічні втручання.....	303
8.1.1	Клінічні прояви та перебіг ПМС	303
8.1.2	Телереабілітаційні втручання при РМЗ	307
8.2	Організаційні аспекти реалізації програм телереабілітації.....	310
8.2.1	Первинне та етапні реабілітаційні обстеження.....	310
8.2.2	Базові набори МКФ.....	312
8.2.3	ІРП для надання телереабілітації.....	315
8.3	Програми телереабілітації пацієнтів	317
8.3.1	Особистісно-орієнтована програма телереабілітації на передопераційному етапі (пререабілітація).....	317
8.3.2.	Індивідуальні програми в післягострому та довготривалому періодах телереабілітації	321
8.3.3.	Існуючі та перспективні шкали для оцінки реабілітаційного потенціалу та моніторингу наслідків реабілітаційних втручань	323
8.4	Висновки до розділу.....	325
	ДОДАТОК А КОМПЛЕКС ТЕЛЕРЕАБІЛІТАЦІЙНИХ ПРОЦЕДУР...	330

А 1	Програма фізичної терапії.....	330
А 1.1	1-3 тижні після операції:.....	330
А 1.2	3-6 тиждень після операції	332
ДОДАТОК Б РЕАБІЛІТАЦІЙНИЙ ДІАГНОЗ ТА ПРОГРАМА РЕАБІЛІТАЦІЇ ХВОРИХ З ЛІМФАТИЧНИМ НАБРЯКОМ ВЕРХНЬОЇ КІНЦІВКИ ПІСЛЯ МАСТЕКТОМІЇ		
		336
Б 1	Обстеження жінок після мастектомії, які дозволяють індивідуалізувати реабілітаційний процес.....	337
Б 2	Дослідження стану дихальної та серцево – судинної систем ..	338
Б 3	Методики реабілітаційного обстеження	339
Б 4	Реабілітаційний діагноз	343
Б 5	План комплексних реабілітаційних втручань	345
Б 6	Роль лікаря ФРМ	354
Б 7	Роль фізичного терапевта	356
Б 8	Роль асистента фізичного терапевта	357
Б 9	Роль реабілітаційної медсестри	358
Б 10	Роль лікаря-психолога	359
Список літератури		361
ДОДАТОК В РАЦІОН ХАРЧУВАННЯ		363
ДОДАТОК Г ПСИХОЛОГІЧНА РЕАБІЛІТАЦІЯ ХВОРИХ НА РМЗ ..		365
Г 1	Цілі та етапи психологічної реабілітації хворих РМЗ	366
Г 2	Етапи визначення впливу захворювання на психічний стан. ..	366
Г 2.1	Етап первинної діагностики психічного стану:	366
Г 2.2	Етап психоедукації для можливості формування мотивації та надання технік самодопомоги (Додаток Г7):.....	367
Г 2.3	Етап психотерапевтичного супроводу фахівцем	

з використанням телемедицини	368
Опитувальник депресії PHQ-9	369
Опитувальник ГТР-7 (GAD-7)	371
Опитувальник DN4 – Співбесіда з пацієнтом	373
Пітсбурзький опитувальник визначення якості сну (PSQI).....	374
Методики та опитувальники	376
Список літератури	385
Посилання на відеоролики	386

**ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, ОДИНИЦЬ
І ТЕРМІНІВ**

АНС	Автономна нервова система
АРМ-НД	Автоматизоване робоче місце наукових досліджень
АТд	Діастолічний артеріальний тиск
АТс	Систолічний артеріальний тиск
БД	База даних
БД ТРП	База даних трудових ресурсів підприємства
ВММ	Велика мовна модель
ВООЗ	Всесвітня організація охорони здоров'я
ЕКГ	Електрокардіографія
ЕМК	Електронна медична картка
ІАПс	інформаційно-аналітична підсистема
ІКТ	Інформаційно-комунікаційні технології
ІМТ	Індекс маси тіла
ІФСП	Індекс функціональної судинної пружності
МІС	Медична інформаційна система
МКФ	Міжнародна класифікація функціонування, інвалідності та здоров'я
МКХ	Міжнародна класифікація хвороб
МОЗ	Міністерство охорони здоров'я
МРПс	Медико-реабілітаційна підсистема
НСЗУ	Національна служба здоров'я України
ПАРС	Показник артеріальної реактивності системи

ПТСР	Посттравматичний стресовий розлад
РМ	Робоче місце
РМЗ	Рак молочної залози
Система MedRe- habBot	Природномовна інтерактивна інформаційно-довідкової система (та платформи з API) MedRehabBot
СУБД	Система управління базами даних
ТР	Телемедична реабілітація
ТРП	Телереабілітаційна платформа
ФОП	Фізична особа-підприємець
ФП	Функціональна підсистема
ФРМ	Фізична та реабілітаційна медицина
ХП	Хмарна платформа пацієнт-центричної телереабілітації онкологічних хворих
ХІС	Хмарне інтегруюче середовища
ЦБД НСЗУ	Центральна база даних Національної служби здоров'я України
ЧСС	Частота серцевих скорочень
ЯЖ	Якість життя
API	Прикладний програмний інтерфейс (Application programming interface)
BFI	Brief Fatigue Inventory
CES-D	Шкала Центру епідеміологічних досліджень депресії
CTCAE	Загальні термінологічні критерії побічних ефектів
DASH	the Disabilities of the Arm, Shoulder, and Hand

EBSCO	Elton B. Stephens Company
ECOG	Східної кооперативної групи онкологів
EMDR	Десенсибілізація та репроцесуалізація (опрацювання травми) рухом очей
FACT-G	Функціональна оцінка загальної терапії раку
FPR	Fall-out
GBD	Global Burden of Disease
HADS	Госпітальна шкала тривоги і депресії
ICHI	International Classification of Health Interventions
JSON	Java Script Open Notation
K-IDE	Knowledge Integrated Development Environment
MAE	Mean Absolute Error
MSE	Mean Squared Error
MVC	Model-View-Control
NLP	Natural language processing
NLTK	Natural Language Toolkit
OWL	Web Ontology Language
PDF	Portable Document Format
RDF	Resource Description Framework
SQL	Structured Query Language
SPARQL	SPARQL Protocol and RDF Query Language
XML	eXtensible Markup Language

ВСТУП

Фізична і медична реабілітація в Україні в останні роки переживає період інтенсивного розвитку: від першого Закону України «Про реабілітацію у сфері охорони здоров'я» від 31.12.2020 р. № 1053-IX, що забезпечив практичне впровадження нової моделі надання реабілітаційної допомоги і порядок її надання у відповідності з міжнародними стандартами до сьогоденних положень Закону «Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо функціонування телемедицини». Кінцева редакція Закону ще не відпрацьована, але мова йде про надання пацієнтам медичної та/або реабілітаційної допомоги методами і засобами в дистанційний спосіб із застосуванням сучасних, в тому числі інформаційно-комунікативних технологій.

Тематика монографії присвячена одній з найактуальніших медичних проблем зростання захворюваності та смертності у всьому світі – онкологічній патології, що займає як в Україні, так і в світі друге місце після серцевих захворювань. При цьому рак молочної залози (РМЗ) залишається найбільш поширеним новоутворенням, тому в роботі на ньому зроблено спеціальний акцент.

Інформаційно-комунікаційні технології зробили значний внесок в розвиток галузі реабілітаційної медицини, зокрема її телереабілітаційного напрямку.

Відмінною рисою пропонованої інформаційної технології і відповідної архітектури системи є поєднання в них методів штучного інтелекту з точними математичними методами оптимізації методик і всього процесу телереабілітації, орієнтованих на достовірну оцінку стану пацієнта, ефективну стратегію втручання, побудову оптимальної траєкторії процесу реабілітації, прогнозування, тощо. Телереабілітаційна платформа (ТРП) реалізується у вигляді компонентної сукупності сервісів, що функціонують за допомогою онтолого-керованої сервіс-орієнтованої архітектури. Загальна функціональна архітектура складається з двох базових підсистем: медико-реабілітаційної (МРПс) та інформаційно-аналітичної (ІАПс) інакше когнітивної підсистеми. До складу першої як основні функціональні модулі входять: робоче місце лікаря фізичної та реа-

білітаційної медицини, електронний кабінет пацієнта, реєстратура та інші модулі, необхідні для забезпечення реабілітаційного процесу. Особливе положення займає підсистема телемедичного супроводження реабілітаційних заходів. Основними завданнями дистанційно-контрольованої реабілітації є встановлення і відпрацювання оптимальної траєкторії реабілітаційного процесу, прогнозування та оцінка ефективності за ступенем відновлюваних функцій, підтримка взаємодії між членами міждисциплінарної реабілітаційної команди та ін.

Когнітивна підсистема забезпечує інформаційно-аналітичну обробку даних, що формуються у просторово-розподілених мережових джерелах у безперервній взаємодії з усіма профільними фахівцями, учасниками реабілітаційного процесу, за допомогою інтерактивних інтелектуальних методів і засобів, реалізованих в хмарній платформі.

Вона представлена складовою інформаційно-аналітичної підсистеми хмарної платформи пацієнт-центричної телереабілітації онкологічних хворих, отримала назву MedRehabBot і побудована на базі спеціалізованого набору документів з тематики фізичної та реабілітаційної медицини. До її складу входить набір веб сервісів контекстно-семантичного аналізу текстових документів, пошуку і класифікації і прогнозування знань, підтримки генерування OWL онтологій, семантичних дерев, а також графових баз знань, в предметній галузі. Система MedRehabBot використовує інформаційну модель, що ґрунтується на композиційному сервісі, представленому трикомпонентним кортежем: набір веб сервісів та прикладних програм (ПП), функцій обслуговування інформаційно-технологічних процесів, елементів підтримки формування інтегрованого середовища знань. MedRehabBot є практично закінченим результатом проєкту, який має широкі перспективи для впровадження в реабілітаційні системи різного профілю.

Інформаційно-аналітична підсистема з функціями інтелектуального інформаційно-аналітичного супроводження реабілітаційного процесу включає увесь набір інструментів для оцінки ефективності і вдосконалення реабілітацій-

них стратегій. Вона дозволяє медичним фахівцям, дослідникам та адміністраторам систематично вдосконалювати процес телереабілітації, гарантувати якість надання послуг та забезпечувати найкращі результати для пацієнтів, які перебувають у реабілітації.

Робота інформаційно-аналітичної підсистеми ґрунтується на побудові об'єднаної загальної моделі, її точному математичному обґрунтуванні, вирішенні комплексу оптимізаційних задач на всьому просторі поставленої проблеми.

Математичне моделювання відіграє важливу роль в розробці та впровадженні програм телереабілітації для онкохворих пацієнтів. Використання результатів математичного моделювання та аналізу дозволяє науковцям та лікарям розробляти ефективні індивідуалізовані плани реабілітації, враховуючи специфічні потреби кожного пацієнта. Використані методи дозволяють вирішувати задачі: прогнозування поточного та загального стану пацієнтів, стратегії втручання в процес реабілітації, кластеризації онкохворих, розподілу фінансів на лікування (на державному та інших рівнях) тощо. Розробка математичної моделі реабілітаційного процесу як узагальненої системи потребує комплексного підходу, що базується на методології системної динаміки. Використання концепцій системної динаміки дозволяє розглядати тимчасові зміни та вплив змінних на динаміку системи завдяки наявності зворотного зв'язку. Математичне моделювання системи передбачає поєднання моделювання фізіологічного процесу, статистичного аналізу та машинного навчання.

Проаналізовано великий клас математичних моделей і методів оптимізації реабілітаційного процесу, виходячи з аналізу вимог, які диктують методологічні засади реабілітаційного процесу. Більшість з них – оригінальні розробки, що базуються на останніх досягненнях всесвітньовідомі наукові школи академіка В. М. Глушкова, 100-річчя якого відмічалось цей рік. Серед них представлено розв'язання задач методами *негладкої та дискретної оптимізації*, включаючи субградієнтні алгоритми з перетворенням простору, метод вектору спаду

та глобального рівноважного пошуку. Зокрема наведено метод негладких штрафних функцій для задач опуклого програмування, параметрично версія методу еліпсоїдів з масштабуванням простору. На їх базі побудовано математичний апарат *прогнозування* психологічних станів пацієнтів на основі кардіологічних даних з використанням регресійної моделі та методу еліпсоїдів з процедурою відбору ознак та метрик для оцінки узгодженості масиву даних. Вирішено задачі *класифікації* і кластеризації для розділення пацієнтів на групи у відповідності з їх діагностичними параметрами, прогнозування процесу відновлення організму пацієнта. Розглянуто приклад формування компонентів мультимедійного психомоделюючого середовища для методу аналізу ієрархій.

По суті ІАП формує всі сервіси, необхідні для робіт медико-реабілітаційної підсистеми з якою безпосередньо працює міждисциплінарна реабілітаційна команда:

- методичні засади,
- супроводження телереабілітаційних заходів,
- теледіагностику і телеінтервенції,
- прогнозно-аналітичні функції,
- консультативна підтримка,
- довідкові функції та ін.

Викладено вимоги до медико-реабілітаційної підсистеми в цілому та її функціональних компонентів.

У *першому розділі* представлено аналіз світових тенденцій в телереабілітації онкологічно хворих. Викладено основні положення Закону України «Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо функціонування телемедицини».

Другий розділ присвячено розробці функціональних вимог до архітектури та функціональних компонентів хмарної платформи пацієнт-центричної телереабілітації онкологічних хворих (ТРП). Відмінною рисою пропонованої техно-

логії і відповідної архітектури системи є поєднання в них методів штучного інтелекту з точними математичними методами оптимізації методик і всього процесу телереабілітації.

В *третьому розділі* представлена розробка інтелектуальної інформаційно-довідкової системи, що є однією з базових складових інформаційно-аналітичної підсистеми хмарної платформи пацієнт-центричної телереабілітації онкологічних хворих. Вона отримала назву Med Rehab Bot.

В *четвертому розділі* наведено описи основних функціональних модулів медичної підсистеми ТРП (робоче місце лікаря, кабінет пацієнта тощо) і засоби інформаційно-технологічної підтримки програми теле реабілітації онкологічних хворих, зокрема на РМЗ.

В *п'ятому розділі* розроблені вимоги до методів математичного моделювання та оптимізації, що забезпечують ефективність та безперервне вдосконалення процесів телереабілітації онкологічних хворих.

В *шостому розділі* викладені результати розроблення методів негладкої оптимізації для побудови формалізованих моделей організації реабілітаційного процесу онкологічних хворих.

Сьомий розділ присвячено розробці формалізованих моделей організації реабілітаційного процесу та вирішенню основних оптимізаційних задач пацієнт-центричних реабілітаційних програм.

В *восьмому розділі* представлено методичні засади забезпечення процесу телереабілітації хворих на РМЗ.

В *Додатках* наведено приклади реабілітаційних втручань.

1 РОЗРОБЛЕННЯ ВИМОГ ДО МЕТОДИЧНИХ ЗАСОБІВ ТРП ДЛЯ ОНКОЛОГІЧНИХ ХВОРИХ

1.1 Загальні положення

Онкологічна патологія є однією з найактуальніших медичних проблем та провідних причин зростання захворюваності та смертності в усьому світі. Згідно даних із офіційних джерел, показники захворюваності, інвалідності та смертності від злоякісних новоутворень як в Україні, так і у світі, займають друге місце у структурі основних епідеміологічних даних після серцево-судинних захворювань [1].

Рак молочної залози (надалі РМЗ) залишається найбільш поширеним новоутворенням у структурі захворюваності в світі. В США рак молочної залози займає провідну позицію за кількістю щорічних випадків, з 287850 випадків у 2022 році, в той час як рак легенів продовжує залишатися основною причиною смерті [2]. В Україні у 2021 році РМЗ посідав перше місце серед десяти основних розповсюджених нозологічних форм злоякісних новоутворень і його питома вага складала 22,2 % [3].

Удосконаленню методів діагностики та лікування онкологічної патології приділяється особлива увага, що сприяє збільшенню тривалості життя пацієнтів. Однак, слід зауважити, що забезпечення медичної допомоги пацієнтам зі злоякісними новоутвореннями тільки шляхом впровадження сучасних передових технологій лікування та діагностики виявляється недостатньо ефективним. Успіх комплексного лікування онкологічних пацієнтів необхідно оцінювати не тільки по збільшенню тривалості життя, а й по підвищенню показників належної якості життя пацієнтів та їх здатності повернутись до повноцінного функціонування у суспільстві. Ще у 1990 році на конференції Американського Товариства Клінічної Онкології (ASCO) якість життя визначена другим за важливістю критерієм ефективності лікування пацієнта після загальної виживаності та є більш значущою, ніж об'єктивна відповідь пацієнта на лікування [4]. Відпо-

відно важливим напрямком адаптації та інтеграції пацієнтів із злоякісними новоутвореннями у суспільне життя є організація та розвиток надання реабілітаційних послуг в онкології.

В останні роки перспективним напрямком у реабілітації є надання реабілітаційної допомоги із застосуванням телереабілітації. Телереабілітація – складова частина телемедицини, що забезпечує надання реабілітаційної допомоги фахівцями з реабілітації шляхом телеконсультування разом з обстеженням, проведенням телереабілітаційних зборів мультидисциплінарної реабілітаційної команди, телеметрії, контролю, телеконсультування (телевідеоконсультування), дистанційної супервізії та в інших формах, що не суперечать законодавству, за допомогою інформаційно-комунікаційних технологій [5].

Інформаційно-комунікаційні технології (надалі ІКТ) за останні роки внесли значні зміни в традиційне середовище надання медичних послуг. Телемедицина поступово стає найбільш помітною послугою ІКТ з вагомим впливом на традиційний механізм надання медичних послуг.

Телемедицина – це дистанційне надання медичних послуг за допомогою різних телекомунікаційних інструментів, включаючи телефони, смартфони та мобільні бездротові пристрої (з відеозв'язком або без нього), які можуть усунути географічні бар'єри для надання клінічних послуг пацієнтам. У порівнянні з традиційними медичними послугами, телемедицина має вищу медичну доступність завдяки міжтериторіальному зв'язку та міжчасовій взаємодії, а також демонструє чудовий потенціал застосування в оптимізації розподілу медичних ресурсів [6].

1.2 Формування вимог до сучасних телереабілітаційних систем

Галузевим нормативним документом із застосування телемедицини в Україні є Наказ МОЗ від 26.03.2010 № 261 «Про впровадження телемедицини в закладах охорони здоров'я». Порядок надання медичної допомоги із застосуванням телемедицини також визначається наказом МОЗ від 19.10.2015 р. № 681 «Про затвердження нормативних документів щодо застосування телемедицини у сфері охорони здоров'я» та Законом України від 03.12.2020 № 1053-IX «Про

реабілітацію у сфері охорони здоров'я» ст. 19 «Надання реабілітаційної допомоги із застосуванням телереабілітації» [7].

В Законі України від 29.07.2022 р. № 2494-IX «Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо підвищення доступності медичної та реабілітаційної допомоги у період дії воєнного стану» в розділі V «Прикінцеві та перехідні положення» Закону України «Про реабілітацію у сфері охорони здоров'я» (Відомості Верховної Ради України, 2021 р., № 8, ст. 59) був внесений додатковий пункт, який визначає, що «до надання реабілітаційної допомоги із застосуванням телереабілітації можуть залучатися фахівці з реабілітації, які є іноземцями (крім громадян Російської Федерації та Республіки Білорусь) або особами без громадянства, за умови їх реєстрації в інформаційно-комунікаційній системі, що забезпечує надання реабілітаційної допомоги із застосуванням телереабілітації. Для надання такої допомоги не можуть застосовуватися відповідні інформаційно-комунікаційні системи, права на які зареєстровані у Російській Федерації або Республіці Білорусь».

Відповідно до проєкту закону України від 14.06.2023 р. «Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо функціонування телемедицини»: в основах законодавства України про охорону здоров'я розширюється визначення поняття телереабілітації та умови надання телереабілітаційних послуг, причому кваліфіковану медичну та реабілітаційну допомогу необхідно надавати з дотриманням вимог щодо збереження лікарської таємниці та конфіденційності інформації про стан здоров'я пацієнта, дотриманням вимог Законів України «Про інформацію», «Про захист персональних даних», «Про захист інформації в інформаційно-комунікаційних системах» та дотримання норм етики та деонтології надання медичної допомоги.

Забезпеченню збереження медичної таємниці та конфіденційності під час надання реабілітаційної допомоги сприяє ряд законодавчих вимог до закладів охорони здоров'я, їх медичних і службових працівників, ФОП, що здійснюють господарську діяльність у сфері надання реабілітаційних послуг, що визначені

у Порядку надання медичної допомоги із застосуванням телемедицини, реабілітаційної допомоги із застосуванням телереабілітації на період дії воєнного стану в Україні або окремих її місцевостях, затверджені наказом МОЗ України № 1695 від 17.09.2022 [8] і Законі України «Основи законодавства України про охорону здоров'я» від 19.11.1992 (ст. 35-6) [9]: 1) бути підключеними та зареєстрованими в телемедичних платформах (системах); 2) забезпечити збереження медичної таємниці та конфіденційності, цілісності медичної інформації про стан здоров'я пацієнта, а також виконання вимог Закону України «Про захист персональних даних»; 3) використовувати програмне та апаратне забезпечення, за допомогою яких реалізується право на надання реабілітаційної допомоги лише відповідно до завдань, які вирішуються за допомогою телемедичних (телереабілітаційних) технологій; 4) дотримуватися законодавства про медичну таємницю та конфіденційність при здійсненні і збереженні записів (у т.ч. аудіо-, відео-, а також записів параметрів медичного обладнання) телемедичного консультування, телемедичних консилиумів, телеметрії, домашнього телеконсультування, виконання медичних маніпуляцій та операцій; 5) визначати відповідальних осіб, які будуть здійснювати збір та формувати необхідну інформацію, для використання телемедичних платформ (систем) та надавати доступ для лікарів чи медичних працівників, які будуть брати участь у проведенні телемедичного/телереабілітаційного) консультування, до таких платформ (систем) [10].

Надаючи медичні/реабілітаційні послуги за допомогою телемедицини/телереабілітації, слід пам'ятати про кримінальну відповідальність, що передбачені: ст. 132 КК України «Розголошення відомостей про проведення медичного огляду на виявлення зараження вірусом імунодефіциту людини чи іншої невиліковної інфекційної хвороби» та ст. 145 КК України «Незаконне розголошення лікарської таємниці».

Головними функціональними завданнями телемедицини є: забезпечення надання медичної допомоги пацієнтам, незважаючи на віддаленість розташування; створення єдиного медичного простору; сприяння підвищенню якості та

ефективності організації та управління охороною здоров'я; формування системних підходів до впровадження та розвитку телемедицини в системі охорони здоров'я [11].

Серед пацієнтів з РМЗ поширеними є симптоми депресії, тривоги і дистресу, що негативно впливають на якість їх життя. Зважаючи на негативний вплив онкологічних захворювань на якість життя пацієнтів, розширення доступу до реабілітаційних заходів за допомогою інтелектуальних інформаційно-аналітичних систем супроводження процесів реабілітації, є корисним інструментом. Необхідно зауважити, що засоби телемедицини дозволяють також проводити скринінги психологічного стану пацієнта, психологічні втручання та консультування. Це забезпечує пацієнтам постійний доступ до підтримки та дає відчуття, що вони не самотні та що медична допомога завжди поруч, що є корисним для покращення їхнього психологічного стану.

Основною перевагою телереабілітації є залучення до амбулаторної реабілітації одночасно більшої кількості пацієнтів, особливо немобільних або маломобільних, а також людей, які живуть далеко від центрів реабілітації, шляхом надання дистанційних реабілітаційних послуг. До того ж, багато пацієнтів не хочуть брати участь у програмах реабілітації через незручний час проведення занять, фінансові витрати або час на дорогу. Проведення реабілітаційних сесій у домашніх умовах є одним із варіантів вирішення вищевказаних проблем, це призводить до підвищення доступності реабілітаційних програм і можливості прямої та безперервної взаємодії пацієнта та фахівців із реабілітації. За допомогою сучасних дистанційних технологій можливий контроль виконання вправ і навантаження пацієнта в режимі реального часу, а також корекція програми реабілітації за суб'єктивними відчуттями і динамікою стану організму пацієнта.

1.3. Аналіз світових тенденцій в телереабілітації онкологічних хворих

З метою оцінки зацікавленість та вподобання жінок, які перенесли лікування з приводу РМЗ, щодо інтервенцій зі зниження малорухливого способу життя, які підтримуються ІКТ (наприклад, додаток для смартфонів, веб-сайт,

пристрій для відстеження активності) в цілому, а також щодо конкретного змісту, особливостей, формату та дизайну цих інтервенцій, Gillian R. Lloyd et. al. провели дослідження. Результати дослідження показали, що більшість респондентів (79,9 %) були зацікавлені у втручаннях на основі ІКТ для зменшення малорухливого способу життя і зазначили, що будуть використовувати додаток для смартфона або спеціально розроблений веб-сайт (61,3 %) 2-3 рази на день (48,0 %), від 6 до 7 днів на тиждень (52,0 %). Більшість респондентів (73,5 %) вважали, що нагадування допоможуть їм запобігти сидячому способу життя, і вважали за краще отримувати їх після 60 хвилин сидіння (60,5 %) за допомогою вібрації на наручному трекері активності (77,3 %) або текстових повідомлень (54,4 %). Це свідчить про те, що втручання на основі ІКТ для зменшення малорухливого способу життя можуть бути доцільними та прийнятними для пацієнтів, які перенесли лікування з приводу РМЗ [12].

У 2019 р. Elizabeth Hernandez Silva et. al. був проведений систематичний огляд метою якого було оцінити ефективність застосунків (додатків) mHealth для самоконтролю щодо зменшення болю, психологічного дистресу, втоми та покращання сну у дорослих людей з онкологічними захворюваннями. Результати дослідження показали, що інтеграція додатків системи мобільного здоров'я в континуум онкологічної допомоги може бути успішним підходом, який пропонує недорогі способи заохочення профілактичних стратегій в режимі реального часу або моніторингу різних видів поведінки, симптомів і фізіологічних показників захворювання, а також проведення втручань в реальному часі [13].

Протягом останніх років у світі були запроваджені різноманітні системи телереабілітації у пацієнтів, які перенесли лікування з приводу РМЗ.

В 2022 р. був опублікований систематичний огляд та мета-аналіз, в якому було проаналізовано дев'ять досліджень, проведених в Австралії, Китаї, Іспанії, США та Кореї та опублікованих між 2012 та 2021 роками. В проаналізованих дослідженнях використовувались різноманітні технології телемедицини. Серед включених досліджень в трьох з них використовували онлайн-систему або про-

грамне забезпечення, у двох – телефонний зв'язок, в одному – електронну пошту, у двох – портативні технології (наприклад, монітор активності і крокомір), і в одному – технологію захоплення руху. Результати систематичного огляду показали, що фізична терапія на основі телемедицини має переваги над стандартним лікуванням у пацієнток, які перенесли лікування з приводу РМЗ, щодо покращення фізичної активності, аеробної здатності, функцій організму, м'язової сили та якості життя, а також зменшення втомлюваності. Крім того, телемедичне втручання сприяє підвищенню доступності медичних послуг у сільській та віддаленій місцевості, тим самим підвищуючи його великий потенціал застосування [6].

Так, в Іспанії одна програма телереабілітації була реалізована за допомогою онлайн-системи e-CUIDATE (www.cuidateconnosotros.com; доступ 14 червня 2016 р.), яка дозволяє розвивати дистанційну реабілітацію. Система e-CUIDATE складається з публічного інтерфейсу та окремого приватного інтерфейсу. Публічна частина – це домашня сторінка, на якій розміщена актуальна інформація про РМЗ. Після проходження базового оцінювання, учасники отримують особисто інструкції про те, як отримати доступ до приватної зони та користуватися нею самостійно (були надані логіни та паролі). Дослідницький персонал CUIDATE розробив найбільш адекватну індивідуальну програму вправ для кожного учасника. Це було важливо для посилення прихильності до програми. Інтервенціями керував дослідницький персонал CUIDATE, який використовував контрольну платформу для призначення та перевірки різних програм вправ. Графік складався з 3 занять на тиждень (у різні дні), які тривали приблизно 90 хвилин щодня. Інтенсивність та обсяг фізичних навантажень визначалися відповідно до рекомендацій Американського коледжу спортивної медицини для людей, які перенесли специфічне лікування з приводу онкологічних захворювань. В результаті використання системи e-CUIDATE значно покращилась якість життя, зменшилась біль та втома, підвищилась м'язова сила порівняно зі звичайним лікуванням. Ці досягнення збереглися і після 6-місячного пе-

ріоду спостереження. Результати дослідження системи також демонструють високий рівень сприйняття та прихильності до втручання, що узгоджується з інформацією про інші системи телереабілітації, які були впроваджені в гострому періоді інсульту та у пацієток, які перенесли лікування з приводу РМЗ [14].

Інше дослідження було реалізоване в Іспанії в 2020-2021 рр., його метою було вивчення сприйняття пацієнтками, які перенесли лікування з приводу РМЗ, впливу онлайн-програми фізичних вправ в умовах пандемії COVID-19. Онлайн-програма фізичних вправ була розроблена для підвищення сили, діапазону рухів у суглобах та серцево-судинної витривалості з метою покращення якості життя шляхом підвищення толерантності пацієнтів до специфічних методів лікування раку. Програма фізичних вправ складалася з 48 занять, протягом півроку. Заняття були розділені на три частини. Перші десять хвилин розминки були присвячені вправам на покращання рухливості суглобів. Основна частина складалася з 40 хвилин силових вправ (наприклад, присідання, випади вперед і назад, присідання, вправи на біцепс, трицепс тощо). Заключний 10-хвилинний сегмент включав вправи на гнучкість для великих м'язових груп. Наприкінці заняття застосовувалася шкала втоми (шкала Борга), і інтенсивність наступних занять програмувалася на основі досягнутого відсотка втоми. Результати дослідження свідчать, що пряма онлайн трансляція та контрольовані групові заходи допомагають пацієнткам, які перенесли лікування з приводу РМЗ, уникати побічних ефектів, пов'язаних з раком, а також контролювати страх, пов'язаний з COVID-19, та надають альтернативу для покращення якості життя, пов'язаної з психічним здоров'ям [15].

У Чилі була запроваджена модель фізичної терапії з використанням телереабілітації для пацієток, які перенесли лікування з приводу РМЗ, під час пандемії COVID-19. Ця модель телереабілітації в Complejo Asistencial Dr Sótero del Río діє з квітня 2020 року як гібридна або змішана модель і є безкоштовною для пацієнтів. Щоб приєднатися до програми телереабілітації, необхідно пройти первинне оцінювання. Оцінюються невідкладні стани, загострення або функціо-

нальні розлади, а також встановлюється порядок проведення майбутніх дистанційних консультацій (за домовленістю між терапевтом і пацієнтом). Перша зустріч проводиться по телефону і триває приблизно 20 хвилин. Після отримання усної згоди пацієнта на майбутні обстеження визначаються подальші кроки відповідно до індивідуальних потреб. Це може бути телефонний дзвінок, індивідуальний відеодзвінок через мобільний пристрій (комп'ютер або смартфон) або груповий відеодзвінок, залежно від наявності та зручності пристроїв у пацієнта. Під час первинної оцінки проводиться усне опитування щодо ознак і симптомів, пов'язаних із наслідками специфічного лікування, з особливим акцентом на скринінг лімфедми (відчуття важкості в руці на оперованій стороні, збільшення об'єму руки, якість шкіри тощо). Пацієнткам надають та аналізують план фізичної терапії з особливим акцентом на вправи, що сприяють венозному та лімфатичному відтоку від верхніх кінцівок, а також проводять онлайн консультації щодо переваг фізичної активності та загального самообслуговування. Також пацієнток навчають, як виміряти обхват верхньої кінцівки для визначення її об'єму. Досвід чилійської лікарні показує, що таку модель телереабілітації можна реалізувати. Зокрема, при РМЗ моделі раннього втручання та превентивної фізичної терапії довели свою ефективність у зменшенні післяопераційних ускладнень після мастектомії [16].

Дослідження, проведене в Ізраїлі та опубліковане в 2022 р., вивчало вплив короткострокової індивідуальної та групової телереабілітації на основі зайнятості («Управління участю при РМЗ») на участь та симптоми, пов'язані з РМЗ, а також на сприйняття учасницями здатності керувати своїм повсякденним життям в умовах численних викликів, спричинених РМЗ, а також COVID-19. На початку дослідження проводились 6-тижневі гібридні втручання, що склалися з чергування щотижневих індивідуальних сесій реабілітації в клініці та сесій телереабілітації (вдома у жінок, з використанням спеціальної навчальної програми), загалом 12 сеансів. Під час COVID-19 втручання проводилися за тими ж принципами, що й раніше, але склалися лише з щотижневих індиві-

дуальних онлайн-сесій (30-45 хвилин кожна) та зустрічей у малих групах онлайн протягом 6 тижнів (всього 12 сесій), за допомогою Zoom Pro, навчання також супроводжувалося доступними онлайн відеокліпами. Індивідуальні сесії передбачали визначення заняттєвих цілей та бар'єрів на шляху до участі, розробці, навчанні та забезпеченні метакогнітивних стратегій та стратегій самоменеджменту для управління та покращення повсякденної участі жінок, особливо під час пандемії. Індивідуальні сесії також включали терапевтичні вправи для верхніх кінцівок під наглядом ерготерапевта. Крім того, ерготерапевт та жінки обговорювали ідеї щодо адаптації домашнього та робочого середовища відповідно до їх поточних здібностей, функціональних потреб та обмежень. У групових сесіях брали участь жінки зі схожими симптомами, труднощами та функціональними потребами. Під час цих сесій жінки ділилися прикладами та досвідом стратегій, які вони використовували для подолання симптомів та труднощів у повсякденному житті. Результати дослідження показали, що телереабілітаційні втручання є можливим і успішним способом покращення повсякденної участі для пацієнток, які перенесли лікування з приводу РМЗ, та покращують якість їх життя [17].

В Італії досліджувалась продуктивність технології захоплення руху MoCap, Microsoft Azure Kinect DK з RGB-D системою, у виявленні компенсаторних патернів та постуральних порушень, пов'язаних з дисфункцією плечового суглоба у пацієнток після мастектомії. Програмне рішення складається з спеціальної гри та двох мобільних додатків для пацієнтів і медичного персоналу. Обмін усіма даними в системі відбувається через програмну архітектуру веб-сервера. Фахівець з реабілітації має можливість використовувати додаток для Android, щоб керувати сеансами пацієнтів, відстежувати результати та надавати зворотній зв'язок. Пацієнтам також надається Android-додаток, який дозволяє перевірити наявність сеансу та зворотній зв'язок з медичним персоналом. Запропонована телереабілітаційна платформа була протестована фахівцями з реабілітації та отримала позитивні відгуки [18].

Дослідження глобального тягаря хвороб (Global Burden of Disease – GBD) 2020 показало, що РМЗ залишається провідним онкологічним діагнозом серед жінок [19]. Хірургічні втручання, такі як мастектомія та лампектомія, широко визнані як ефективні методи лікування РМЗ з відносною п'ятирічною виживаністю 90 %. [20]. Однак, після операції пацієнти часто відчують різні симптоми в плечі, на стороні ураженої молочної залози, включаючи біль, набряк та обмежений діапазон рухів у плечовому суглобі, що може привести до хронічних проблем зі здоров'ям, якщо їх не лікувати [21]. Інші методи специфічного лікування раку, такі як хіміотерапія, можуть спричинити втому, зниження когнітивних функцій, депресію, зменшення кісткової маси, зниження м'язової маси, токсичний вплив на серце та інші побічні реакції. Ці побічні реакції можуть призвести до зниження якості життя та негативних наслідків лікування.

Жінки після мастектомії стикаються з медичними, фізичними, когнітивними та емоційними симптомами, пов'язаними з хворобою та лікуванням. Ці симптоми не дають можливості жінкам підтримувати своє функціонування та участь у значущих повсякденних справах у сферах самообслуговування, дозвілля та соціальної активності [22] і впливають на якість їхнього життя (ЯЖ) [23] у короткостроковій та довгостроковій перспективі.

1.4. Розроблення медико-технічних вимог до діагностичних і відновлювальних методів та засобів телереабілітації

Сучасний підхід до реабілітації передбачає надання реабілітаційних послуг у гострій фазі порушення здоров'я та на подальших етапах відновлення в післягострому та довгостроковому періодах для сприяння покращанню функціонування у соціальному середовищі. Надання реабілітаційних послуг засноване на біопсихосоціальній моделі обмеження повсякденного функціонування/життєдіяльності та МКФ. Реабілітаційні заходи повинні бути адекватні стану пацієнта зі злоякісними новоутвореннями, тісно переплітатися з методами комплексного лікування застосовуватись як до початку специфічного лікування, так і одразу після видалення первинної пухлини і протягом усього лікування бути спрямованими на відновлення функції, попередження запального процесу та

утворення щільних рубців, профілактику вторинних ускладнень сприяти адаптації чи реадаптації до життя в домашніх умовах.

Важливе місце в реабілітації онкологічних пацієнтів займає психологічна реабілітація. Одним із важливих чинників стану онкологічного хворого є його психологічний статус. Психологічні проблеми погіршують адаптаційні можливості та якість життя пацієнта, а також негативно впливають на перебіг захворювання та відповідь на лікування. Проведення психологічного втручання покликано відновити функціонування особи у фізичній, емоційній, інтелектуальній, соціальній та духовній сфері.

Відповідно до Закону України «Про реабілітацію у сфері охорони здоров'я» одним із загальних принципів проведення реабілітації є безперервність реабілітаційного процесу протягом всіх реабілітаційних періодів. Застосування методів телереабілітації дає можливість продовжити надання послуг реабілітації на амбулаторному етапі в комфортних для пацієнтів умовах. І, в свою чергу, підвищується мотивація пацієнтів та їх прихильність до реабілітаційних заходів.

В Україні розвивається сучасна система реабілітації та створюються заклади, які надають реабілітаційні послуги на всіх етапах надання реабілітаційної допомоги. Але на сьогодні відсутні спеціалізовані відділення реабілітації в медичних закладах, які проводять лікування пацієнтів з онкологічними захворюваннями. В зв'язку з чим існує нагальна потреба в проведенні реабілітаційних заходів онкологічним пацієнтам, яка набагато перевищує наявні ресурси. І тому саме використання сучасних телереабілітаційних технологій для надання пацієнтам своєчасної та професійної реабілітаційної допомоги є актуальним та доцільним.

Визначаються, в першу чергу, провідною роль і місцем МКФ в телереабілітації хворих на РМЗ. Реабілітація пацієнток, які перенесли лікування з приводу РМЗ, спрямована на запобігання інвалідності, зменшення наслідків і симптомів, розширення участі та реінтеграції в суспільство з метою досягнення максимально можливої незалежності та кращої якості життя. Реабілітаційні втручання необхідно починати на ранній стадії для підтримки функціональної спроможності та зменшення ризику втрати важливих здібностей або незалежності

та повинні бути індивідуалізовані залежно від фази захворювання, функціонального дефіциту, особистих потреб і конкретних цілей [24].

Детальна інформація про потреби таких пацієнток дозволить забезпечити більш ефективні та цілеспрямовані реабілітаційні втручання. Тому існує потреба в комплексній оцінці різних сфер здоров'я пацієнток, які перенесли лікування з приводу РМЗ, з використанням стандартизованої системи та спільної мови для опису впливу захворювання на різних рівнях.

Це може бути реалізоване шляхом використання основних наборів Міжнародної класифікації функціонування, обмежень життєдіяльності та здоров'я (надалі МКФ). Відповідно до МКФ [25], схваленої Всесвітньою організацією охорони здоров'я (ВООЗ) у 2001 році, власне рак та специфічне його лікування вражають структури організму, впливають на функції, діяльність та участь, а також на фактори навколишнього середовища. Для РМЗ були розроблені спеціальні повні та короткі базові набори МКФ, які описують функції та неповносправність [26].

Модель МКФ інтегрує діагноз і подальші порушення загальної функції в контексті обмежень, пов'язаних з навколишнім середовищем та особистісними факторами. Фактори середовища взаємодіють з усіма аспектами життя людей (фізичним, соціальним і психологічним), а особистісні фактори (наприклад, впливи або властивості, такі як самоефективність) сприяють адаптації. Важливо розуміти терміни, які використовуються в цій моделі. Функції організму – це фізіологічні функції організму, а структури – це анатомічні частини, що беруть участь у процесі. Обмеження активності визначається як труднощі у виконанні завдання, тоді як обмеження участі – це проблеми, пов'язані з залученням до життєвої ситуації.

На відміну від Міжнародної класифікації хвороб (МКХ), МКФ не визначає критерії для прийняття діагностичних рішень на основі наявності або відсутності захворювання чи розладу. Натомість, функціонування та інвалідність розглядаються як континуум: «Функціонування – це загальний термін для функцій організму, структур тіла, діяльності та участі, що позначає позитивні аспе-

кти взаємодії між людиною (зі станом здоров'я) та її контекстуальними факторами (факторами навколишнього середовища та особистісними факторами)». Інвалідність, з іншого боку, висвітлює негативні аспекти тих самих складових.

Модель МКФ включає погляди лікарів на менеджмент складних і взаємо-впливаючих симптомів у пацієток, які перенесли лікування з приводу РМЗ, погляди фізичних терапевтів на менеджмент змін функціонального статусу в повсякденному житті, а також точку зору самих жінок, які перенесли лікування з приводу РМЗ. Модель МКФ пояснює, як дефіцит на рівні функцій та структури організму може негативно вплинути на рівень активності і, зрештою, призвести до обмежень участі. Обмеження участі можуть включати труднощі з виконанням звичайних домашніх справ, обов'язків, пов'язаних з роботою, а також із залученням до соціальної чи фізичної активності. У цьому контексті порушення, пов'язані з РМЗ, наприклад, обмежений діапазон рухів верхніх кінцівок або зниження сили м'язів, можуть обмежити здатність жінки, яка перенесла лікування з приводу РМЗ, здійснювати самообслуговування, дотягуватися або піднімати предмети. Ці обмеження, у свою чергу, можуть призвести до обмеження участі, наприклад, нездатності виконувати рекреаційну активність, таку як плавання. Фактори навколишнього середовища можуть включати неможливість отримати адекватні реабілітаційні послуги, або особистісні фактори, такі як низька самооцінка, також можуть впливати на здатність жінки брати участь у рекреаційних заходах (рисунок 1.1).

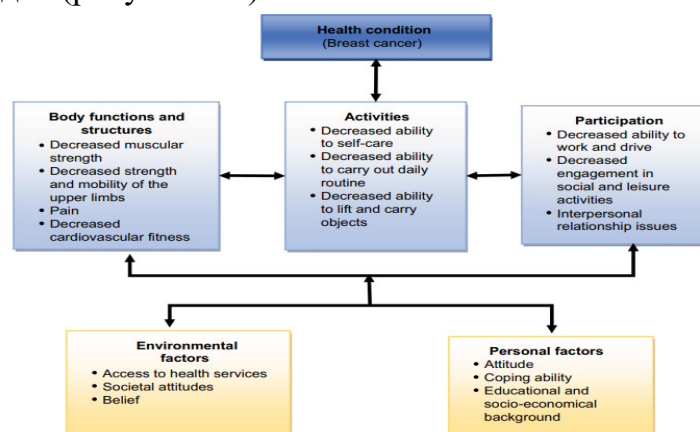


Figure 1 Interactions between the components of the international classification of functioning, disability and health in breast cancer.¹³

Рисунок 1.1 – Взаємодія між компонентами МКФ у пацієток, які перенесли лікування з приводу РМЗ

Використання моделі МКФ в психологічній реабілітації дає можливість описати як медичні, так і немедичні проблеми пацієнтів, які впливають на їх функціонування та хід реабілітації в цілому. Так, наприклад, якщо пацієнт не налаштований на реабілітаційні втручання, негативно ставиться і не хоче взаємодіяти з учасниками мультидисциплінарної команди, надання реабілітаційної допомоги буде ускладнене. Причиною можуть бути як особисті проблеми, так і чинники середовища. На підставі виявлених доменів МКФ психолог не тільки відновлює втрачені психічні функції та розвиває навички навчання пацієнта, а й починає працювати з його настановами, мотивацією, з побудовою співпраці та довірчих стосунків пацієнта з іншими фахівцями.

Вибір конкретних доменів для психологічної реабілітації описує індивідуальні особливості пацієнта в конкретній життєвій ситуації на певному етапі відновлення. Це дає можливість зробити діагностичну оцінку стану пацієнта, виставити психокорекційні, психотерапевтичні, консультаційні цілі. Кількісна оцінка доменів на початку роботи з пацієнтом та на поточний момент дає можливість оцінити прогрес психологічної реабілітації пацієнта. Таким чином, використання інструменту МКФ достатнє для забезпечення практичної роботи психолога в реабілітаційному напрямку.

Категорії МКФ, які використовуються в роботі клінічного психолога: у розділі «Функції організму» – глобальні розумові функції (b110-b139), специфічні розумові функції (b140-b189); у розділі «Діяльність та участь» – навчання і застосування знань: цілеспрямоване використання органів чуття (d110-d129), базисні навички під час навчання (d130-d159), застосування знань (d160-d179), загальні завдання і вимоги (d210; d220; d230; d240; d298), міжособистісні взаємодії та стосунки: загальні міжособистісні взаємодії (d710-d729), специфічні міжособистісні стосунки (d730-d779), головні сфери життя (d910; d920; d930), життя у спільнотах (d940; d950; d998); у розділі «Фактори навколишнього середовища» – підтримка та взаємозв'язки (e310; e315; e320; e325; e330; e335; e340; e350; e355; e360) [28].

В 2022 році Monica Pinto et. al. був проведений систематичний огляд 65 публікацій [29], з метою визначення ролі реабілітації у відновленні осіб після лікування з приводу РМЗ в контексті чинних базових наборів МКФ для РМЗ, підвищення обізнаності про потреби таких пацієнтів та забезпечення оптимальної реабілітаційної допомоги. Серед складової «Функції організму» найбільш досліджуваними категоріями є b455 Функції толерантності до фізичних навантажень (28 статей), b730 Функції м'язової сили (16 статей), b740 Функції м'язової витривалості (15 статей), b530 Функції підтримання ваги (14 статей), b435 Функції імунної системи, включаючи b435.2 і b435.3, пов'язані з лімфедемою (9 статей), b640 Сексуальні функції (6 статей) і b650 Функції менструального циклу (2 статі).

У складовій «Діяльність та участь» найбільш досліджуваними категоріями є d240 Подолання стресу та інших психологічних навантажень (18 статей), d240 Виконання повсякденних справ (11 статей), d850 Оплачувана робота (8 статей), d920 Відпочинок і дозвілля (5 робіт), d920 Харчування (2 статті), d177 Прийняття рішень (2 статті), d770 Інтимні стосунки (2 статті), d620 Придбання товарів та послуг (1 стаття), d640 Виконання домашньої роботи (1 стаття).

Крім того, у складовій «Фактори навколишнього середовища» найбільш дослідженими є категорії e580 Послуги, служби та політика у сфері охорони здоров'я (32 статті); e590 Послуги, служби та політика у сфері праці та зайнятості (10 статей); e355 Медичні працівники (8 статей); e570 Послуги, служби та політика у сфері соціального забезпечення (6 статей); e110 Продукти або речовини для особистого споживання (1 стаття); e450 Індивідуальне ставлення медичних працівників (1 стаття); та e425 Індивідуальне ставлення знайомих, однокласників, колег, сусідів та членів суспільства (1 стаття).

Модель МКФ можна використовувати для оцінки результатів реабілітаційних втручань. Вона дозволяє провести широку кількісну оцінку функціонування та методів документування прогресу у пацієнтів з онкологічними захворюваннями. Розуміння і документування того, як структурні або анатомічні де-

фекти обмежують діяльність (догляд за собою, одягання, догляд за дітьми) і участь (відвідування громадських заходів, зменшення очікувань від роботи), дають ширше уявлення про можливості пацієнта. Фахівці з реабілітації повинні добре розуміти цільову спрямованість своїх реабілітаційних втручань і використовувати відповідні інструменти для оцінки ефективності цих втручань.

1.5 Уточнення методів та засобів телереабілітації для пацієнтів із раком молочної залози. Функції контролю в телереабілітації

Ключовим аспектом у розробці реабілітаційних заходів для поліпшення функцій у жінок, які перенесли лікування з приводу РМЗ, є визначення інструментів вимірювання, які можуть зафіксувати функціональні обмеження для прийняття рішень щодо лікування та розробки реабілітаційних програм. Оціночні показники повинні бути чутливими до унікальних проблем жінок, які перенесли лікування з приводу РМЗ (наприклад, діапазон рухів у плечі після мастектомії), і реагувати на зміни в стані пацієнток. Крім того, в ідеалі заходи повинні бути розроблені як для дослідницьких цілей, так і для індивідуального оцінювання та ведення пацієнтів у клінічній практиці [29].

Специфічні тести та шкали, які використовуються для вимірювання функцій і структур тіла у пацієнтів з онкологічним діагнозом, часто не є унікальними для оцінки цієї групи населення. Однак ці заходи надають відповідну інформацію про порушення, пов'язані з раком, прогностичні чинники та фактори безпеки.

Частота, вираженість і вплив болю на якість життя онкологічних пацієнтів, є важливими факторами, які необхідно враховувати при плануванні реабілітаційних втручань. Біль, пов'язаний з раком, може виникати через саму пухлину або як побічний ефект специфічного лікування. Біль після мастектомії не є рідкістю. Біль залежить від емоційних та суб'єктивних факторів, і піддається психологічним та поведінковим впливам. Поширені розлади верхніх кінцівок при РМЗ, які супроводжуються больовим синдромом, включають шийну радикулопатію, плечову плексопатію, невропатію, пошкодження ротаторної ман-

жети, тендиніт, адгезивний капсуліт, латеральний епікондиліт, постмастектомічний больовий синдром, набряк та метастази в кістки. Біль чинить значний вплив на рухливість, і деякі дослідники навіть встановили порогові значення для помірного та сильного болю на основі його впливу на повсякденну активність [30]. Оцінка болю обов'язково повинна проводитись у пацієнток, які перенесли лікування з приводу РМЗ. Такі шкали, як візуальна аналогова шкала та числова шкала оцінки болю, оцінюють тільки інтенсивність болю, інші шкали є багатовимірними, наприклад, короткий опитувальник болю (Brief Pain Inventory, BPI, C. Cleeland et. al., 1994, англ.), дає змогу оцінити вираженість болю та його вплив на основні аспекти якості життя пацієнтів – щоденну активність, здатність до пересування, можливість виконувати домашні справи, стосунки з іншими людьми, настрій, сон, і здатність отримувати задоволення.

У пацієнток, які перенесли хірургічне втручання, хіміотерапію або променеву терапію з приводу РМЗ, може бути присутнім обмежений діапазон рухів у плечовому суглобі. Такий дефіцит може бути наслідком утворення рубцевої тканини після операції, гіпомобільність суглоба після хіміотерапії чи хірургічного втручання, або фіброзу, спричиненого опроміненням. Зниження діапазону рухів у плечовому суглобі може відбуватися одночасно з лікуванням або після його завершення. Менш інвазивні операції (лампектомія на відміну від мастектомії) можуть зменшувати діапазон рухів у плечовому суглобі так само сильно, як і більш інвазивні процедури [31]. Отже, гоніометрія є необхідним обстеженням для пацієнток, які перенесли лікування з приводу РМЗ.

Зниження сили м'язів у пацієнтів з онкологічними захворюваннями може виникати через проміжні продукти запалення, які продукуються пухлиною, і в результаті катаболізму призводять до виснаження м'язів (кахексії). Внаслідок хірургічних втручань також можуть пошкоджуватись групи м'язів та периферичні нерви, що призводить до втрати сили м'язів. Променева та хіміотерапія можуть зменшити силу, пошкоджуючи м'язову тканину або периферичні нерви. Крім того, біль, страх і втома призводять до зниження активності, що, в свою чергу, спричиняє подальшу втрату м'язової сили та аеробної здатності, а

отже, і м'язової сили та аеробних можливостей. Для вимірювання сили м'язів використовується мануальне м'язове тестування та показники динамометрії кисті.

Для визначення впливу захворювання на функцію верхньої кінцівки у осіб, які перенесли лікування з приводу РМЗ, зазвичай застосовується опитувальник DASH (the Disabilities of the Arm, Shoulder, and Hand), призначений для вимірювання функції верхніх кінцівок, пов'язаної з болем, і досліджує такі симптоми, як біль, слабкість і оніміння, а також ступінь непрацездатності, пов'язаної з роботою та рекреаційною діяльністю. Опитувальники «Функціональна оцінка терапії раку – молочна залоза» (FACT-B+4) та DASH наполегливо рекомендовані для використання у пацієнток, які перенесли лікування з приводу РМЗ, завдяки своїм психометричним властивостям та клінічній доцільності [16].

Вимірювання життєво важливих показників (частоти серцевих скорочень, артеріального тиску, частоти дихання і насичення киснем) дають уявлення про кардіореспіраторний статус пацієнтів з онкологічними захворюваннями. Порушення кардіореспіраторного статусу може проявлятися лише при підвищеному навантаженні. З цієї причини проводиться тест 6-хвилинної ходьби чи аналогічний тест на аеробну здатність. Невідповідність нормальним значенням цих інструментів оцінки свідчить про порушення серцево-судинної та дихальної функції. Повідомлення пацієнта про утруднене дихання (за шкалою задишки) та про надмірне напруження під час виконання фізичного навантаження (за шкалою Борга) під час 6-хвилинного тесту ходьби дають можливість планувати фізичне навантаження для пацієнта, адекватне його стану.

Тест 6-хвилинної ходьби використовується як непрямий показник аеробного навантаження в осіб, які перенесли лікування з приводу РМЗ. Тест 6-хвилинної ходьби фіксує відстань, яку людина може швидко пройти по рівній твердій поверхні за 6 хвилин, і використовується для оцінки субмаксимального рі-

вня функціональної здатності. А показники функціональної мобільності за тестом «Встати та піти», нещодавно пов'язали з наслідками для здоров'я та виживанням від усіх причин у літніх людей та людей, які перенесли рак [33].

У МКФ функція лімфатичних судин і вузлів класифікується як імунологічна функція. порушення можуть бути пов'язані з обструкцією пухлиною лімфатичних судин, але частіше розвиваються внаслідок хірургічної резекції лімфатичних вузлів або індукованих фіброзних змін лімфатичних судин внаслідок променевої терапії. У будь-якому випадку, регіональний лімфовідтік зменшується, що призводить до накопичення лімфатичної рідини та регіонального набряку. Такий набряк загрожує шкірним покривам, підвищуючи ймовірність запалення, інфекції, пошкодження шкіри, зменшення діапазону рухів у суглобах та зниження здатності рухати ураженою кінцівкою. Локалізований набряк є найпоширенішою ознакою лімфедми, тому при оцінці цього порушення основна увага приділяється визначенню об'єму кінцівки. Пацієнтку навчають, як виміряти окружність верхньої кінцівки та отримати її об'єм за допомогою сантиметрової стрічки, орієнтуючись на анатомічні точки, які використовуються на веб-сторінці Клівлендської клініки: Breast Cancer – Arm Volume Calculator [34]. Різниця більше 2,0 см у будь-якій з 4 точок вимірювання означає необхідність лікування лімфедми. Важливо звертати увагу на симптоми важкості, скутості або набряку в ураженій кінцівці. Вимірювання об'єму є лише одним із методів, що використовується для опису тяжкості лімфатичних порушень та дермальної токсичності (субдомен МКФ «шкіра та пов'язані з нею структури»). Існують шкали для оцінки тяжкості змін кольору шкіри, витоку лімфи, лімфоцеле, фіброзу та флеболімфатичних тяжів. Вони забезпечують уніфікацію мови для опису змін лімфатичної тканини та шкіри, що може бути корисним з клінічної точки зору, особливо для постановки довгострокових цілей і обміну інформацією між колегами [4].

Втома, пов'язана з раком, також відома як ракова втома, є дуже поширеним тривалим побічним ефектом серед тих, хто переніс лікування з приводу РМЗ. Цей складний і багатofакторний стан клінічно характеризується стійким

відчуттям фізичної, емоційної та/або когнітивної ригідності, що призводить до значного погіршення якості життя. Первинним показником, який дозволяє оцінити втому, є короткий опитувальник для оцінки втоми (Brief Fatigue Inventory) (BFI), багатовимірна шкала самооцінки, яка визначає вплив втоми на якість життя. Цей опитувальник складається з двох частин та дев'яти запитань, які оцінюються за шкалою від 0 до 10 балів. Зокрема, перші три питання оцінюють поточний, звичайний та найгірший рівні втоми за останні 24 години, тоді як решта – шість запитань стосуються впливу втоми на активність, настрій, пересування, роботу, стосунки та задоволення від життя. Загальний бал BFI обчислюється як середнє арифметичне дев'яти балів, де бали 1-3 вказують на легку втому, бали 4-6 помірну втому, а 7-10 – виражену втому. BFI є надійним інструментом, який дозволяє швидко оцінити рівень втоми у онкологічних пацієнтів та виявити пацієнтів з вираженою втомою [36].

Оцінка якості життя стала однією з найважливіших складових онкологічної допомоги. Часто рішення про початок, уникнення або припинення специфічного лікування можуть ґрунтуватися на обговоренні якості життя пацієнта. Крім того, якість життя стала важливим показником ефективності надання реабілітаційної допомоги. Однією з найбільш застосовуваних шкал визначення якості життя в онкології є анкета EORTC QLQ-C30, яка складається з 30 питань і включає 5 функціональних шкал (фізичне функціонування, рольове функціонування, емоційне функціонування, когнітивне функціонування і соціальне функціонування; 3 шкали симптомів – втома, нудота і біль; а також 6 додаткових критеріїв: порушення сну, втрата апетиту, констипація, діарея, задишка, фінансові труднощі [37].

Сила, рівновага, мобільність і витривалість – це деякі з важливих показників, які фахівці з реабілітації прагнуть ретельно оцінити у своїх пацієнтів. Фахівці з онкологічної реабілітації зазвичай потребують ретельної оцінки цих показників, щоб краще охарактеризувати функціональні можливості, стратифікацію ризику, прогнозування смертності та якість життя.

Хворі на РМЗ відчують численні супутні психологічні симптоми, Незважаючи на хороші прогностичні перспективи сучасних методів лікування РМЗ, онкологічний діагноз є загрозливим і ставить жінок перед багатьма додатковими стресовими факторами, такими як лікування та його побічні ефекти. Тривога є одним з найбільш поширених психологічних симптомів у пацієток з РМЗ, який виникає з частотою від 10 до 30 %. Пацієтка може відчувати тривожні симптоми через очікування негативних результатів, занепокоєння з приводу рецидиву та побічних ефектів лікування тощо. Дистрес – це широка конструкція, яка охоплює великий спектр емоцій, пов’язаних з симптомами депресії, тривоги та розладу адаптації, що виникають з різною інтенсивністю протягом цілого перебігу захворювання. Дистрес може виникати з приводу втоми, стосунків в сім’ї, ваги, страхів, хвилювань, болю. Частота депресії у пацієток з РМЗ оцінювалася від 10 до 30 %, залежно від досліджуваної групи хворих та дизайну дослідження. Депресія негативно впливає на режим лікування жінок, якість життя, самообслуговування, знижує імунітет і шанси на виживання [38]. І тривога, і депресія мають величезний вплив на пацієток з РМЗ. Скринінги на тривожність, дистрес, депресію, їх раннє виявлення та психологічні втручання є важливими для підтримки ментального благополуччя та покращення якості життя хворих на РМЗ. Найбільш адекватними, сенситивними та короткими інструментами для скринінгу та моніторингу тривожно-депресивних порушень у хворих на рак визнані такі шкали, як шкала Центру епідеміологічних досліджень депресії (CES-D) і Госпітальна шкала тривоги і депресії (HADS). Аналіз дискримінантної валідності HADS продемонстрував її перевагу перед іншими психометричними шкалами. HADS містить дві підшкали для оцінки симптомів тривоги та депресії, кожна з яких включає 7 пунктів. Сумарні оцінки вираженості симптомів становлять від 0 до 21 бали. Індикатором наявності субклінічних проявів тривоги або депресії вважається сумарний бал (за підшкалами) від 8 до 10; про клінічно значущі тривогу та депресію свідчать бали понад 10. HADS є найбільш зручним самоопитувальником для скринінгу афективних і тривожних порушень у соматичних пацієнтів [39].

Distress Thermometer (термометр лиха) є перевіреним інструментом швидкого скринінгу психологічного стресу і був схвалений панеллю керівних принципів управління лихом NCCN. Він оцінює, скільки страждань переживають пацієнти за останній період (тиждень). Пацієнтам пропонується вибрати цифру від 0 до 10, щоб вказати їх рівень дистресу. «0» означає відсутність дистресу, а «10» означає надзвичайний дистрес. Більшість досліджень показали, що оцінка 4 використовувалася як граничний бал високого рівня дистресу з оптимальною чутливістю та специфічністю відносно встановленого критерію [40].

1.6 Розроблення загальної методики телереабілітації онкохворих. Реабілітаційні втручання в телереабілітації

Реабілітація онкологічних пацієнтів рекомендована в численних клінічних настановах і може включати різноманітні втручання, в тому числі фізичну терапію та активність (наприклад, фізичні вправи, йогу, лімфодренаж тощо), психологічну допомогу, підтримуючі медикаменти (наприклад, від болю або безсоння), психологічні втручання (наприклад, тренінги життєстійкості, стратегії подолання, техніки релаксації тощо), а також допомогу в соціальній (ре)інтеграції (наприклад, підготовка до повернення на роботу) [43]. Такі втручання можуть бути запропоновані на етапі стаціонарного лікування в реабілітаційних клініках або надаватися амбулаторно або в домашніх умовах.

Однією зі стратегій контролю побічних ефектів специфічних методів лікування є призначення фізичних вправ. Згідно проведених досліджень, адекватна регулярна фізична активність та фізичні вправи є важливим втручанням для покращення якості життя, участі та виживаності онкологічних хворих [44]. Фізичні вправи знижують негативні наслідки лікування у пацієнток з РМЗ, покращуючи фізіологічні та функціональні показники [45].

Жінки, які перенесли лікування з приводу РМЗ, можуть скаржитися на труднощі з верхньою кінцівкою після операції, включаючи зменшення діапазону рухів, пошкодження ротаторної манжети, адгезивний капсуліт («заморожене плече» з тугоухливістю та болем у плечовому суглобі) та синдром павової павутини («павутиння» у шкірі внутрішньої сторони руки з відчуттям

болю та стягнутості, яке виглядає як павутина або мотузка). Ці порушення можуть призвести до зниження здатності виконувати повсякденну діяльність і вплинути на можливості працевлаштування. Комплексне лікування РМЗ також може призводити до ураження опорно-рухового апарату. Поширеність порушень з боку опорно-рухового апарату серед пацієнток з РМЗ значно варіює: до них відносяться обмеженість рухів у плечі (від 1,5 % до 50 % пацієнток), м'язово-скелетний біль (від 12 % до 51 % пацієнток), слабкість у верхніх кінцівках (від 18 % до 23 % пацієнток), оніміння (від 29 % до 81 % пацієнток) [46].

Фізичну терапію в післяопераційному періоді слід починати з першого дня після операції. У перший тиждень після операції слід виконувати м'які вправи на розтяг. Активні вправи на розтяг можна починати з 1-го тижня після операції або після видалення дренажу і продовжувати протягом 6-8 тижнів або до досягнення повного обсягу рухів в ураженій верхній кінцівці. Жінок також слід проінструктувати щодо самомасажу рубця. Прогресивні тренування на опір, які є зміцнювальними вправами, можна починати з легкої ваги (до 1 кг) протягом 4-6 тижнів після операції [47].

Проведений мета-аналіз An De Groef et. al. показав, що мультифакторна фізична терапія, а саме вправи на розтяг та активні вправи були ефективними для лікування післяопераційного болю та порушеного діапазону рухів у плечовому суглобі після специфічного лікування РМЗ.

Ряд досліджень продемонстрував, що підтримка фізичної активності може запобігти деяким побічним реакціям, пов'язаним з специфічним лікуванням раку [48].

У консенсусній заяві Міжнародного мультидисциплінарного круглого столу 2018 року зазначено, що люди, які перенесли лікування з приводу раку, повинні виконувати 150 хв аеробних вправ помірної інтенсивності (щонайменше тричі на тиждень, кожна тривалістю не менше 30 хв.) або 75 хв. аеробних вправ високої інтенсивності двічі на тиждень, а також вправи на опір і гнучкість [41].

Усі жінки, які перенесли лікування з приводу РМЗ, мають ризик розвитку лімфедеми. Це набряк руки, грудей або грудної стінки внаслідок блокування

відтоку лімфи з руки та/або грудей, що призводить до затримки рідини та набряку. Лімфедема має значний негативний вплив на фізичний та психологічний стан людини. Частота виникнення лімфедери від 15 % до 30 % серед пацієнток після операції на РМЗ [50]. Лімфедема може виникнути одразу після лікування або розвинутиися через багато років. Променева терапія може викликати або посилити лімфедему, особливо опромінення надключичних лімфатичних вузлів або пахвової западини. Лікування зазвичай включає ручний лімфодренажний масаж (техніка масажу, яка стимулює скоротливість лімфатичних шляхів), догляд за шкірою, багатошарове бинтування кінцівки та фізичні вправи (помірне, повторюване скорочення м'язів). Зазвичай пацієнтка проходить від 15 до 30 сесій протягом 4-6 тижнів. Після досягнення оптимального об'єму кінцівки пацієнтку можна перевести на самостійні заняття. Пацієнткам з підвищеним індексом маси тіла показані стратегії зниження та підтримання ваги.

Розвиток втоми, пов'язаної з злоякісними новоутвореннями, є одним із найчастіших симптомів, особливо серед пацієнтів, які отримували променеву терапію та хіміотерапію. У деяких людей втома тривалий час після специфічного лікування може суттєво впливати на якість життя. На сьогоднішній день все ще існує мало доказів щодо механізмів, які лежать в основі патогенезу втоми. Історично склалося так, що втрата м'язової маси, порушення метаболізму та вироблення АТФ розглядалися як основні фактори, що призводять до розвитку втоми. Нещодавно було висунуто гіпотезу, що скелетні м'язи відіграють ключову роль у патогенезі втоми. Крім того, в літературі існують численні приклади прямого пошкодження мітохондрій, що призводить до дисфункції, яка супроводжується підвищенням внутрішньоклітинного оксидативного стресу та недостатнім енергозабезпеченням. Доведено, що фізичні вправи здатні покращити функцію та активність мітохондрій у вразливих пацієнтів. Вправи на витривалість можуть відігравати ключову роль у запобіганні виснаження м'язів, стимулюючи мітохондріальну активність. В реабілітаційні протоколи втоми необхідно включати аеробні вправи (наприклад, ходьба, їзда на велосипеді, веслування) та силові тренування (наприклад, легка атлетика) [51].

Можливими втручаннями для пацієнтів з РМЗ для зменшення психосоціальних проблем є підтримуюча психотерапія, протокол зниження стресу на основі усвідомленості та когнітивно-поведінкова терапія [52].

Для деяких пацієнтів досвід раку є надзвичайно травматичним, з психологічними наслідками, які можуть призвести до посттравматичного стресового розладу (ПТСР). ПТСР – це психічний розлад, що виникає після впливу небезпечних для життя епізодів (критерій А) і характеризується інтенсивним переживанням травмуючої події через нав'язливі спогади та кошмари (критерій В); уникнення нагадувань про подію (критерій С); негативні зміни в когніціях і настрої (критерій D); підвищена пильність по відношенню до потенційних загроз навколишньому середовищу (критерій Е); а в деяких випадках - стійкі або рецидивуючі симптоми деперсоналізації. Хворі на рак часто описують постійне занепокоєння, кошмари з приводу пухлинного захворювання або лікування, а також побоювання рецидиву і про майбутнє. Дані, що вивчають симптоматику ПТСР серед тих, хто тривалий час пережив рак, показують показники ПТСР, пов'язаних з раком протягом усього життя, які коливаються від 3 до 22 % [53]. Останні дослідження доводять ефективність EMDR (десенсибілізація та репроцесуалізація (опрацювання травми) рухом очей) у онкологічних хворих. Так, Jarero et. al. провели рандомізоване клінічне дослідження з ефективності десенсибілізації та переробки травми рухами очей за Протоколом інтегративного групового лікування, адаптованим для постійного травматичного стресу (EMDR-IGTP-OTS) у жінок з раком. Аналіз даних показав, що EMDR-IGTP-OTS був ефективним у значному зменшенні симптомів ПТСР, тривоги та депресії, які підтримувалися протягом 90-денного спостереження [54].

Діагноз РМЗ посилює схильність жінок зосереджуватися на образі тіла, який визначається як уявне представлення свого тіла, думок і почуттів щодо свого зовнішнього вигляду, привабливості та компетентності, а також сприйманого стану загального здоров'я, цілісності, функціонування та сексуальності. Втрата грудей невід'ємно пов'язана з ідентичністю, сексуальністю та самовідчуттям жінки, причому приблизно одна третина тих, хто вижив, висловлюють

страждання, безпосередньо пов'язані з порушенням образу тіла після успішного лікування раку, особливо серед молодих жінок [55]. Esplen провів дослідження для оцінки ефективності 8-тижневої групи для жінок, які перенесли лікування з приводу РМЗ. Втручання поєднувало два етапи: експресивні вправи з керованими зображеннями, інтегровані в модель принципів групової терапії. Це втручання полегшує вивчення ідентичності та особистісне зростання. Інтервенція також включала освітній компонент щодо соціальних та культурних факторів, що впливають на самооцінку жінок та образ тіла. Пацієнти в основній групі показали значно менше занепокоєння/дистресу з приводу зовнішнього вигляду тіла, зниження стигми тіла та нижчий рівень проблем, пов'язаних з РМЗ, порівняно з жінками в контрольній групі.

Шкали оцінки результатів реабілітаційних втручань забезпечують надійну основу для прийняття рішень лише за умови їх ретельного відбору, належного впровадження та коректного аналізу. У сучасному світі медицини та доказових методів лікування кожна спеціальність потребує цілеспрямованої оцінки показників, які вони використовують для аналізу ефективності проведених реабілітаційних заходів. Без належного розуміння відповідних показників результату неможливо оцінити ефективність результатів реабілітації, які підтверджуються цими показниками. Краще розуміння обґрунтованості, обсягу та дієвості цих показників дозволить фахівцям з реабілітації краще зрозуміти, коли слід проводити конкретні реабілітаційні заходи, зрозуміти, наскільки вони можуть бути ефективними, і як вони можуть вписатися в цілі пацієнтів. Моніторинг функцій пацієнта до, під час і після лікування раку є важливою функцією онкологічної реабілітації. Відстеження функції в часі є важливим способом оцінити прогрес пацієнтів. Функціональні показники результатів, такі як Функціональна оцінка загальної терапії раку (FACT-G), Східної кооперативної групи онкологів (ECOG), Шкала ефективності Карнофскі (KPS) і Загальні термінологічні критерії побічних ефектів (CTCAE) – це кілька широко використовуваних

показників результатів загальної функції, які надають об'єктивні дані, що використовуються клініцистами перед прийняттям рішень про лікування та оцінкою відповіді на специфічне лікування раку і реабілітаційні втручання [56].

Шкали для оцінки результатів реабілітації повинні бути достатньо повними для оцінки всіх важливих результатів, але водночас навантаження на пацієнтів, пов'язане із заповненням цих інструментів, має бути мінімальним. Загальним підходом до визначення того, які інструменти можуть бути використані для вимірювання окремих результатів у сфері охорони здоров'я полягає в тому, щоб пов'язати їх зміст з МКФ. Так, Gilrichst et. al. надають перелік численних інструментів для оцінки різних компонентів МКФ, які можуть бути використані в онкологічній реабілітації [30]. На даний момент все ще бракує стандартів щодо того, які шкали слід використовувати, а їх впровадження в онкологічну реабілітацію є дуже неоднорідним.

У дослідженні проаналізовано міжнародний досвід використання методів та засобів телереабілітації онкологічних хворих на рак молочної залози (РМЗ). На основі виконаного аналізу сформовано комплекс методичних вимог до створення сучасних інформаційно-технологічних засобів телереабілітації та їх застосування; аргументовано доведено доцільність впровадження методів телереабілітації онкологічних хворих на рак молочної залози (РМЗ) на підставі Міжнародній класифікації функціонування, обмеження життєдіяльності та здоров'я (МКФ), проаналізовано міжнародний досвід використання методів та засобів телереабілітації онкологічних хворих на РМЗ. На основі виконаного аналізу міжнародного досвіду, сформовано напрямки практичного застосування сучасних інформаційно-технологічних засобів телереабілітації в сфері охорони здоров'я України.

1.7 Висновки до розділу

Дотепер в Україні реабілітаційні послуги пацієнтам із злоякісними захворюваннями шляхом телереабілітації не надаються. Теоретичний аналіз міжнародного і вітчизняного досвіду з реабілітації у сфері охорони здоров'я свідчить

про можливість розробки ефективного комплексу методично-технологічних засобів телереабілітації для пацієнтів із злоякісними новоутвореннями, зокрема РМЗ, на амбулаторному етапі надання реабілітаційної допомоги. Впровадження системи телереабілітації потребує вирішення наступних задач: вивчення чинних нормативно-правових актів України, що регулюють надання телереабілітаційної допомоги; ознайомлення з рекомендаційними документами ВООЗ, стандартами, клінічними настановами та протоколами, якими керуються в онкологічній реабілітації.

Вибір, впровадження та інтеграція в онкологічну телереабілітацію підмножин тестів та шкал для оцінки різних компонентів МКФ з метою отримання максимально ефективного результату з мінімальними зусиллями; розробка та підбір нових інформаційних онлайн технологій підтримки всіх процесів телереабілітації, заснованих на широкому цілеспрямованому застосуванні інформаційних технологій, зокрема штучного інтелекту; застосування математичних методів моделювання, оптимізації та прогнозування на всіх етапах життєвого циклу (маршрутизація, формування логічної структури доказових методів та технологій надання реабілітаційних послуг в онкологічній реабілітації, побудова науково обґрунтованої загальної моделі пацієнт-центричної комплексної телереабілітації в онкології, яка включає всі необхідні етапи, починаючи з реабілітаційного обстеження пацієнтів, формулювання реабілітаційних цілей, постановки реабілітаційного діагнозу на основі МКФ і закінчуючи формуванням персоніфікованого плану реабілітації з постійним моніторингом та оцінкою ефективності реабілітаційних втручань в режимі дистанційної взаємодії пацієнта та фахівців з реабілітації. Велике значення при цьому має модернізація додипломної та післядипломної освіти фахівців з реабілітації.

Доцільним є розробка комплексного підходу до проведення сучасних досліджень щодо впливу телереабілітаційних втручань на стан та якість життя онкологічних пацієнтів, а також оцінки методів найкращого використання телемедичних технологій.

Список використаної літератури розділу 1

1. Аналітичний огляд: Онкоепідеміологічна ситуація та стан організації онкологічної допомоги в Україні, 2021-2022 рр. URL: http://www.ncru.inf.ua/publications/BULL_24/PDF/04-13-vstup.pdf (дата звернення 15.06.2023).
2. Chhikara B. S., Parang K. Global Cancer Statistics 2022: the trends projection analysis. *Chemical Biology Letters*. 2023. 10 (1). 451. URL: <http://pubs.thesciencein.org/> (дата звернення 19.06.2023).
3. Бюлетень Національного Канцер-реєстру України № 24. Київ, 2023. URL: http://www.ncru.inf.ua/publications/BULL_24/ (дата звернення 29.06.2023).
4. Зуб В.О. Порівняльний аналіз якості життя пацієнтів з раком легень, простати, молочної залози та шлунку в Україні згідно опитувальника EORTC QLQ-C30. *Клінічна та профілактична медицина*. 2023. 2 (24). С. 45-54. DOI: [https://doi.org/10.31612/2616-4868.2\(24\).2023.07](https://doi.org/10.31612/2616-4868.2(24).2023.07).
5. Проект Закону Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо функціонування телемедицини : проєкт Закону від 14.06.2023 р. URL: <https://itd.rada.gov.ua/billInfo/Bills/Card/42121>.
6. Peng Yu., Zhang K. et. al. Effect of a telehealth-based exercise intervention on the physical activity of patients with breast cancer: A systematic review and metaanalysis. *Asia-Pacific Journal of Oncology Nursing*. 2022. 9. 100117. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apjon.2022.100117>.
7. Про реабілітацію у сфері охорони здоров'я : Закон України від 3.12.2020 р. № 1053-IX. *Відомості Верховної Ради (ВВР)*. 2021. 8. С. 59. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1053-20#Text> (дата звернення 29.06.2023).
8. Про затвердження Порядку надання медичної допомоги із застосуванням телемедицини, реабілітаційної допомоги із застосуванням телереабілітації на період дії воєнного стану в Україні або окремих її місцевостях : наказ МОЗ України від 17.09.2022 р. № 1695 (Із змінами, внесеними згідно з Наказом Міністерства охорони здоров'я від 07.10.2022 р. № 1818). URL:

<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1155-22/conv#n20> (дата звернення 29.06.2023)

9. Основи законодавства України про охорону здоров'я: Закон України від 19.11.1992 р. (редакція від 27.10.2022 р.) № 2801-XII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2801-12#Text> (дата звернення 15.06.2023).

10. Яремко О. Телемедицина/телереабілітація під час воєнного стану: які гарантії права на медичну таємницю пацієнта? URL: <https://www.hsa.org.ua/blog/telemedicina-telereabilitaciia-pid-cas-vojenного-stanu-iaki-garantiyi-prava-na-medicnu-tajemniciu-pacijenta> (дата звернення 01.07.2023)

11. Лагутіна К.О. Телемедична мережа в Україні. *Юридичний науковий електронний журнал*. 2020. № 2. С. 38-41. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0374/2020-2/8>

12. Lloyd G.R., Oza S., Kozey-Keadle S. et. al. Breast cancer survivors' beliefs and preferences regarding technology-supported sedentary behavior reduction interventions. *AIMS Public Health*. 2016. 3 (3). P. 592-614. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5647888/pdf/publichealth-03-03-592.pdf> (дата звернення 03.07.2023).

13. Silva E.H., Lawler S., Langbecker D. The effectiveness of mHealth for self-management in improving pain, psychological distress, fatigue, and sleep in cancer survivors: a systematic review. *Journal of Cancer Survivorship*. 2019. 13. P. 97-107. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11764-018-0730-8>.

14. Galiano-Castillo N., Arroyo-Morales M. et. al. Effect of an Internet-based telehealth system on functional capacity and cognition in breast cancer survivors: a secondary analysis of a randomized controlled trial. *Support Care Cancer*. 2017. 25 (11). P. 3551-3559. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00520-017-3782-9>

15. Garcia-Roca M.E., Rodriguez-Arrastia M. et. al. Breast Cancer Patients' Experiences with Online Group-Based Physical Exercise in a COVID-19 Context: A Focus Group Study. *J Pers Med*. 2022. 12 (3). P. 356. DOI: <https://doi.org/10.3390/jpm12030356>.

16. Mella-Abarca W., Barraza-Sánchez V., Ramírez-Parada K. Telerehabilitation for people with breast cancer through the COVID-19 pandemic in Chile. *Ecancermedicalscience*. 2020. 5 (14). 1085. DOI: <https://doi.org/10.3332/ecancer.2020.1085>.
17. Loubani K., Schreuer N., Kizony R. Telerehabilitation for Managing Daily Participation among Breast Cancer Survivors during COVID-19: A Feasibility Study. *Journal of Clinical Medicine*. 2022. 11 (4). P. 1022. DOI: <https://doi.org/10.3390/jcm11041022>.
18. Cattaneo A., Fragasso M., Magni M. et. al. Assessing the Accuracy of the Azure Kinect for Telerehabilitation After Breast Cancer Surgery. *Studies in Health Technology and Informatics*. 2023. 301. P. 83-88. DOI: <https://doi.org/10.3233/SHTI230017>
19. Siegel R.L., Miller K.D., Fuchs H.E. et. al. Cancer statistics, 2021. *CA: A Cancer Journal for Clinicians*. 2021. 71 (1). P. 7-33. DOI: <https://doi.org/10.3322/caac.21654>
- Breast Cancer Facts & Figures 2019-2020. Atlanta : American Cancer Society, 2019 URL: <https://www.cancer.org/content/dam/cancer-org/research/cancer-facts-and-statistics/breast-cancer-facts-and-figures/breast-cancer-facts-and-figures-2019-2020.pdf> (дата звернення 03.07.2023).
20. Lacomba M. T., del Moral O. M. et. al. Axillary web syndrome after axillary dissection in breast cancer: a prospective study. *Breast Cancer Res Treat*. 2009. 117 (3). P. 625-630. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10549-009-0371-8>.
21. Keesing S., Rosenwax L., McNamara B. Identifying the contribution of occupational therapy in meeting the needs of women survivors of breast cancer. *British Journal of Occupational Therapy*. 2018. 81 (7). P. 402-412 DOI: <https://doi.org/10.1177/0308022618762080>
22. Blanckenburg P., Seifart U. et. al. Quality of life in cancer rehabilitation: the role of life goal adjustment. *Psycho-Oncology*. 2014. 23 (10). P. 1149-1156. DOI: <https://doi.org/10.1002/pon.3538>.

23. Amatya B., Khan F., Galea M.P. Optimizing post-acute care in breast cancer survivors: a rehabilitation perspective. *J Multidiscip Healthc.* 2017. 30 (10). P. 347-357. DOI: <https://doi.org/10.2147/JMDH.S117362>.
24. Stucki G., Melvin J. The International Classification of Functioning, Disability and Health: a unifying model for the conceptual description of physical and rehabilitation medicine. *J Rehabil Med.* 2007. 39 (4). P. 286-292. DOI: <https://doi.org/10.2340/16501977-0044>.
25. Brach M., Cieza A., Stucki G. et. al. ICF Core Sets for breast cancer. *J Rehabil Med.* 2004. 44. P. 121-127. DOI: <https://doi.org/10.1080/16501960410016811>.
26. Campbell K.L., Pusic A.L., Zucker D.S. et. al. A prospective model of care for breast cancer rehabilitation: function. *Cancer.* 2012. 118 (8). P. 2300-231. DOI: <https://doi.org/10.3390/cells8070738>.
27. Козлова Н.В., Левицкая Т.Е., Цехмейструк Е.А., Атаманова И.В. Использование МКФ в реабилитации: клинический случай. *Сибирский психологический журнал.* 2020. 78. С. 145-155. DOI: <https://doi.org/10.17223/17267080/78/9>.
28. Pinto M., Calafiore D., Piccirillo M.C. et. al. Breast Cancer Survivorship: the Role of Rehabilitation According to the International Classification of Functioning Disability and Health – a Scoping Review. *Curr Oncol Rep.* 2022. 24. P. 1163-1175. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11912-022-01262-8>.
29. Serlin R.C., Mendoza T.R., Nakamura Y. et. al. When Is Cancer Pain Mild, Moderate or Severe? Grading Pain Severity by Its Interference with Function. *Pain.* 1995. 61. P. 277-284. DOI: [https://doi.org/10.1016/0304-3959\(94\)00178-H](https://doi.org/10.1016/0304-3959(94)00178-H).
30. Gilchrist L.S., Galantino M.L., Wampler M., Marchese V.G., Morris G.S., Ness K.K. A framework for assessment in oncology rehabilitation. *Physical Therapy.* 2009. 89 (3). P. 286-306. DOI: <https://doi.org/10.2522/ptj.20070309>.
31. Davies C., Ryans K. et. al. Breast Cancer Edge Task Force Outcomes: Quality of Life and Functional Outcome Measures for Secondary Lymphedema in Breast Cancer Survivors. *Rehabilitation Oncology.* 2014. 32 (1). P. 7-12. URL:

https://journals.lww.com/rehabonc/Fulltext/2014/32010/BREAST_CAN-CER_EDGE_TASK_FORCE_OUTCOMES__Quality_of.3.aspx (дата звернення 01.07.2023).

32. Breast Cancer Facts & Figures 2019-2020. Atlanta : American Cancer Society, 2019 URL: <https://www.cancer.org/content/dam/cancer-org/research/cancer-facts-and-statistics/breast-cancer-facts-and-figures/breast-cancer-facts-and-figures-2019-2020.pdf> (дата звернення 03.07.2023).

33. Klepin H.D., Geiger A.M., Tooze J.A. et. al. Health, Aging and Body Composition Study. Physical performance and subsequent disability and survival in older adults with malignancy: results from the health, aging and body composition study. *J Am Geriatr Soc.* 2010. 58 (1). P. 76-82. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1532-5415.2009.02620.x>.

34. Mendoza T.R., Wang X.S., Cleeland C.S. et. al. The rapid assessment of fatigue severity in cancer patients: use of the Brief Fatigue Inventory. *Cancer.* 1999. 85 (5). P. 1186-1196. DOI: [https://doi.org/10.1002/\(sici\)1097-0142\(19990301\)85:5<1186::aid-cnrc24>3.0.co;2-n](https://doi.org/10.1002/(sici)1097-0142(19990301)85:5<1186::aid-cnrc24>3.0.co;2-n).

35. Зуб В.О. Порівняльний аналіз якості життя пацієнтів з раком легень, простати, молочної залози та шлунку в Україні згідно опитувальника EORTC QLQ-C30. *Клінічна та профілактична медицина.* 2023. 2 (24). С. 45-54. DOI: [https://doi.org/10.31612/2616-4868.2\(24\).2023.07](https://doi.org/10.31612/2616-4868.2(24).2023.07).

36. Boing L., Pereira G.S., Araújo C.D.C.R., Sperandio F.F. et. al. Factors associated with depression symptoms in women after breast cancer. *Rev Saude Publica.* 2019. 53:30. DOI: <https://doi.org/10.11606/S1518-8787.2019053000786>.

37. Yeh M.L., Chung Y.C., Hsu M.Y., Hsu C.C. Quantifying psychological distress among cancer patients in interventions and scales: a systematic review. *Curr. Pain Headache Rep.* 2014. 8 (3). P. 399 DOI: <https://doi.org/10.1007/s11916-013-0399-7>.

38. Ng C.G., Mohamed S., Kaur K., Sulaiman A.H. et. al. Perceived distress and its association with depression and anxiety in breast cancer patients. *PLoS One.* 2017. 12 (3). e0172975. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0172975>.

39. Stout N.L., Santa Mina D., Lyons K.D., Robb K., Silver J.K. A systematic review of rehabilitation and exercise recommendations in oncology guidelines. *CA Cancer J Clin.* 2021. 71 (2). P. 149-175. DOI: <https://doi.org/10.3322/caac.21639>.
40. Shin W.K., Song S., Jung S.Y. et. al. The association between physical activity and health-related quality of life among breast cancer survivors. *Health Qual Life Outcomes.* 2017. 15 (1). 132. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12955-017-0706-9>.
41. De Lazzari N., Niels T., Tewes M., Götte M. A Systematic Review of the Safety, Feasibility and Benefits of Exercise for Patients with Advanced Cancer. *Cancers (Basel).* 2021. 13 (17). 4478. DOI: <https://doi.org/10.3390/cancers1317447>.
42. Schmitz K.H., Campbell A.M., Stuiver M.M. et. al. Exercise is medicine in oncology: Engaging clinicians to help patients move through cancer. *CA Cancer J Clin.* 2019. 69 (6). P. 468-484. DOI: <https://doi.org/10.3322/caac.21579>.
43. Vanderbyl B.L., Mayer M.J., Nash C. et. al. A comparison of the effects of medical Qigong and standard exercise therapy on symptoms and quality of life in patients with advanced cancer. *Support Care Cancer.* 2017. 25 (6). P. 1749-1758. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00520-017-3579-x>.
44. Runowicz C.D., Leach C.R., Lynn Henry N. et. al. American Cancer Society/American Society of Clinical Oncology Breast Cancer Survivorship Care Guideline. *Journal of Clinical Oncology.* 2016. 34 (6). P. 611-635. URL: <https://ascopubs.org/doi/10.1200/JCO.2015.64.3809> (дата звернення 20.06.2023).
45. Harris S.R., Schmitz K.H. et. al. Clinical practice guidelines for breast cancer rehabilitation. Syntheses of guideline recommendations and qualitative appraisals. *Cancer.* 2012. 118 (S8). P. 2312-2324. DOI: <https://doi.org/10.1002/cncr.27461>.
46. Gradishar W.J., Anderson B.O., Abraham J. et. al. Breast Cancer, Version 3.2020, NCCN Clinical Practice Guidelines in Oncology. *J Natl Compr Canc Netw.* 2020. 18 (4). P.452-478. DOI: <https://doi.org/10.6004/jnccn.2020.0016>.
47. Zhou H.-J., Wang T., Xu Y.-Z. et. al. Effects of exercise interventions on cancer-related fatigue in breast cancer patients. *An overview of systematic reviews,*

15 March 2022, PREPRINT (Version 1) available at Research Square. DOI: <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1376171/v1>.

48. Wang Q., Zhou W. Roles and molecular mechanisms of physical exercise in cancer prevention and treatment. *Journal of Sport and Health Science*. 2021. 10 (2). P. 201-210. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2020.07.008>.

49. Campbell K.L., Winters-Stone K.M. et. al. Exercise Guidelines for Cancer Survivors: Consensus Statement from International Multidisciplinary Roundtable. *Med Sci Sports Exerc*. 2019. 51 (11). P. 2375-2390. DOI: <https://doi.org/10.1249/MSS.00000000000002116>.

50. Zou L., Liu F.H., Shen P.P. et. al. The incidence and risk factors of related lymphedema for breast cancer survivors post-operation: a 2-year follow-up prospective cohort study. *Breast Cancer*. 2018. 25 (3). P. 309-314. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12282-018-0830-3>.

51. Invernizzi M., de Sire A., Lippi L. et. al. Impact of Rehabilitation on Breast Cancer Related Fatigue: A Pilot Study. *Frontiers in Oncology*. 2020. 10. DOI: <https://doi.org/10.3389/fonc.2020.556718>.

52. Dinapoli L., Colloca G., Di Capua B., Valentini V. Psychological Aspects to Consider in Breast Cancer Diagnosis and Treatment. *Curr Oncol Rep*. 2021. 23 (38). DOI: <https://doi.org/10.1007/s11912-021-01049-3>.

53. Carletto S., Porcaro C., et. al. Neurobiological features and response to eye movement desensitization and reprocessing treatment of posttraumatic stress disorder in patients with breast cancer. *Eur J Psychotraumatol*. 2019.10 (1). 1600832. DOI: <https://doi.org/10.1080/20008198.2019.1600832>.

54. Jarero I., Givaudan M., Osorio A. Randomized Controlled Trial on the Provision of the EMDR Integrative Group Treatment Protocol Adapted for Ongoing Traumatic Stress to Female Patients With Cancer-Related Posttraumatic Stress Disorder Symptoms. *Journal of EMDR Practice and Research*. 2018. 12. P. 94-104. DOI: <https://doi.org/10.1891/1933-3196.12.3.94>.

55. Esplen M.J., Wong J., Warner E., Toner B. Restoring Body Image After Cancer (ReBIC): Results of a Randomized Controlled Trial. *J Clin Oncol*. 2018. 36 (8). P.749-756. DOI: <https://doi.org/10.1200/JCO.2017.74.8244>.
56. Maldonado E., Thalla N., Nepaul S., Wisotzky E. Outcome Measures in Cancer Rehabilitation: Pain, Function, and Symptom Assessment. *Front Pain Res (Lausanne)*. 2021. 2:692237. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpain.2021.692237>.

2 РОЗРОБЛЕННЯ АРХІТЕКТУРИ ТЕЛЕРЕАБІЛІТАЦІЙНОЇ ПЛАТФОРМИ (ТРП)

2.1 Розроблення технічних вимог до архітектури ТРП

2.1.1 Обґрунтування вимог до архітектури ТРП

В науці останнього періоду проходить процес *трансдисциплінарної* (ТД) інтеграції знань зі створенням ТД-кластерів конвергенцій, які володіють *синергетичним* ефектом, що стимулює створення нових методів і технологій. В медицині, зокрема реабілітаційній, він призвів до інтенсивного розвитку *наративної та інтегративної* медицини, яка у поєднанні із сучасними методами нейрокомунікативного та інформаційного супроводження, розвинутими засобами штучного інтелекту, що підтримують біологічний зворотний зв'язок (БЗЗ) і створення так званого консолідованого інтелекту, та іншими формами впливу на пацієнта (енергетичні, натуропатичні та ін.) дають сильні практичні результати [1-4].

В рамках виконаного раніше проєкту «Трансдисциплінарна інтелектуальна інформаційно-аналітична система супроводження процесів реабілітації при пандемії (TISP)» стали зрозумілими фактори ризику проведення реабілітаційних заходів, що привело до необхідності відпрацювання методів та засобів *телереабілітації* [5]. На першому плані виявились дистанційні методи контролю кардіо- і психофізіологічних показників і використання систем БЗЗ з сесіями телемоніторингу і роботи з пацієнтом в домашніх умовах. Звідси з'явився мініатюрний ЕКГ апарат, модуль зберігання та транспорту даних, інтерфейс діагностики за правилами когнітивної графіки тощо. Тому підсистема телемедичного супроводження реабілітаційних заходів в нашій ТРП повинна бути досконалою окремою Smart-системою [6], що обслуговує пацієнта в дистанційному режимі. Основними завданнями дистанційно-контрольованої реабілітації є оцінка її клінічної ефективності за ступенем відновлення функцій, виявленню ускладнень, встановлення оптимальної траєкторії реабілітаційного процесу.

Важливим фактором є підтримка можливості працювати у форматі міждисциплінарної команди. Основним критерієм включення пацієнта в програму реабілітації є наявність Інтернету, веб-камери (смартфону), якісній організації «робочого» місця, інших необхідних засобів. Для підтримки процесу реабілітації необхідні також різноманітні сервіси та інструменти, що виконують функції семантичного аналізу природної мови, діагностики, класифікації інформації, зберігання та розповсюдження різноманітних документів (відео- та аудіоконтент), орієнтованих зокрема на дистанційне навчання пацієнтів та їх родичів. Користувач (в даному випадку лікар-реабілітолог) може вибрати при цьому одну чи декілька прогностичних моделей, їх комбінацій з використанням простих алгебраїчних операцій над векторами слів, певну візуалізацію, наприклад, для пошуку необхідних інформаційних об'єктів. Окремий сервіс – електронна бібліотека медіафайлів, що представляє собою розподілену інформаційну систему з функціями управління, використання та розповсюдження (функція ширінгу) різноманітних колекцій документів і файлів тощо.

Одним з основних завдань сервісу «eHealth» є *ефективна навігація на інтегрованому інформаційному ресурсі* з метою пошуку необхідного медіа-контенту при мінімальних зусиллях. Розвинуті функції розширеного адміністрування та соціально-мережеві функції, маніпулювання зі структурою опису об'єкту, *підтримки багатомовних файлів субтитрів для відеоконтенту*.

Метод семантичного аналізу і побудова на його основі формальних запитів і відповідей дає можливість обслуговувати широкий клас користувачів (лікарів, пацієнтів, науковців). Цей сервіс надає можливість створення так званих ботів – віртуальних помічників, що можуть бути підключеними до зовнішнього сервісу, що отримує повідомлення і надсилає свої. Сервіс обслуговується інтерфейсом у вигляді вікна, здатного згортатися і розгортатися і має вигляд вебсторінки. Користувач може надсилати свої запитання, навіть не чекаючи відповіді. Всі вони будуть оброблені, а відповіді дані по мірі отримання.

В проєкті сформульовано основні вимоги до створення *гібридної хмарної платформи* [7] та на її основі інформаційної технології телереабілітації онкологічних хворих, що обслуговує широке коло спеціалістів з фізичної і реабілітаційної медицини (ФРМ) в секторі «Телереабілітація онкологічних хворих» [2]. Особливістю пропонованої технології є поєднання методів штучного інтелекту з точними математичними методами розв'язання складних задач, пов'язаних з оцінкою поточного стану пацієнта, стратегією втручання в процесі телереабілітації, розподілу фінансів на лікування тощо. Телереабілітаційна платформа реалізується у вигляді сукупності окремих сервісів [8], кожен з яких забезпечує визначену функціональність за допомогою онтолого-керованої сервіс-орієнтованої архітектури. Всі заплановані задачі орієнтовані на: прогнозування поточного та загального стану пацієнтів, стратегії втручання в процес реабілітації, кластеризації онкохворих та інші функції. Розроблено та апробовано новітню інтерактивну інформаційну систему підтримки лікаря з фізичної і (теле) реабілітаційної медицини (ФРМ), названу MedRehabBot. Вона дозволяє надавати інформацію та виконувати логікові виведення на основі певного набору контекстів, функціонуючи як діалогова система.

Експериментальні дані роботи з ChatGPT [9, 10] показали, що одним з ефективних підходів для надання стислих, але вичерпних команд та інструкцій є представлення їх у форматі JSON, у форматі забезпечення функцій, що гарантують впорядкованість, легкість, інтерпретованість та максимальну ефективність інформації для ChatGPT. Такий підхід дозволяє чітко подати системі бажані дії та очікування, оптимізуючи взаємодію між користувачами та ChatGPT.

Методологію можна розділити на три ключові компоненти, кожна з яких слугує окремій меті в розробці системи MedRehabBot:

- забезпечення роботи з вебсервісами,
- формування інтегрованого середовища розвитку знань,
- розробка і використання функцій, що підтримують інформаційно-технологічний процес в цілому.

2.1.2 Порядок надання медичної допомоги із застосуванням телемедицини (Наказ № 1695 від 17.09.2022 р.)

Дія цього Порядку поширюється на телемедичні та телереабілітаційні платформи (системи), сервіси телевідеоконсультування, телеметричні та телерадіологічні апаратно-програмні рішення діагностики здоров'я людини, програмно-апаратні комплекси, мобільно-діагностичні комплекси, які використовуються при наданні медичної допомоги та реабілітації у сфері охорони здоров'я.

Зокрема *телереабілітаційна платформа* (ТРП) визначається як автоматизована інформаційно-аналітична система, що використовується для електронного обігу медичних даних, результатів діагностичних досліджень, необхідних для проведення телереабілітаційних заходів та взаємодії працівників і пацієнтів. Заходи включають:

- телереабілітаційне консультування з використанням засобів телеметрії, телемоніторингу та телемедичної візуалізації, які забезпечують телеметрію, обробку та передачу даних про здоров'я пацієнта;
- телереабілітацію у вигляді комплексу реабілітаційних вправ і навчальних програм, які виконуються пацієнтом дистанційно, а контролюються переважно в стаціонарному реабілітаційному центрі.

Правила медичної допомоги із застосуванням засобів телемедицини встановлюють *вимоги* до програмного та апаратного забезпечення ТРП і телереабілітаційних технологій (наприклад, опрацювання зображень в онкології, регламент онлайн взаємодії, роботу в реальному часі, режимі віддаленого моніторингу та відкладеного консультування, збереження медичної таємниці та конфіденційності, цілісність медичної інформації про стан здоров'я пацієнта, а також виконання вимог Закону України «Про захист персональних даних та норм етики».

ТРП повинна забезпечити медичному працівнику (лікар-реабілітолог) коректне виконання Порядку ведення реєстру медичних записів в електронній системі охорони здоров'я.

2.1.3 Загальні вимоги до архітектури ТРП

Загальні вимоги до ТРП з точки зору користувача підпадають під дію ISO 9126 про характеристики якості програмних систем:

- функціональність;
- надійність;
- безпека;
- продуктивність;
- зручність використання;
- здатність до адаптації, гнучкість, масштабованість сервісів.

Названим вимогам найкращим чином відповідає *сервіс-орієнтована* архітектура [5, 8]. Кожен застосунок, який, в свою чергу, може мати атомарні сервіси, працює у своєму власному процесі і обмінюються даними, використовуючи стандартні протоколи (перш за все HTTP) та стандартні формати (JSON, XML). JSON – стандарт побудови мов розмітки ієрархічно-структурованих даних для обміну між різними додатками. Стандарт має метамову, на основі якої визначаються специфічні, предметно-орієнтовані мови розмітки даних. Він також дозволяє здійснювати контроль за коректністю даних. Створивши правильну структуру механізму обміну інформації на початку проектування інформаційної системи, можна уникнути в майбутньому багатьох проблем, пов'язаних з несумісністю форматів даних різних підсистем. Корисним в розробці програмного забезпечення інформаційної системи є використання MVC (Model-View-Control) – шаблону, який забезпечує незалежність роботи з даними від зміни інтерфейсу користувача.

Взагалі сервіс-орієнтована архітектура реалізує масштабованість сервісів, скорочує час реалізації проєкту, підвищує продуктивність розробки та впровадження, полегшує інтеграцію прикладних програм.

Використання хмарних обчислень. Хмарні обчислення підтримують взаємодію між різними системами при оптимальному розподілі навантаження між локальними і віддаленим серверами. Користувач має доступ до власних даних,

але не повинен піклуватися про інфраструктуру, операційну систему і властивості програмного забезпечення. Хмарне середовище забезпечує контроль за потоками даних користувачів та централізовану технічну підтримку та обслуговування, персоніфіковане сховище даних, стандартизацію робочих місць.

Модель «Робоче місце як сервіс» реалізується за допомогою *технології віртуалізації*. Вона спрощує адміністрування, підвищує рівень стабільності та безпеки, підтримує кросплатформенність, модульність. Існує у вільному доступі програма для створення віртуальних машин Virtual Box, яка працює, зокрема з операційною системою Linux і забезпечує ключові функціональності, такі як підтримка USB 2.0, віртуалізація робочих столів, простий обмін файлами між хостовою та гостьовою системами, підтримка образів жорстких дисків, аудіопристроїв тощо.

В цілому в монографії максимально використано досвід попередніх розробок як в частині формування загальної архітектури ТРП, так і (особливо) Smart-засобів, методів і технологій підтримки пацієнт-центричного телемедичного супроводження реабілітаційних заходів з використанням апаратних і програмних сервісів теледіагностики телеметрії, взаємодії з пацієнтом, штучного інтелекту, математичних методів моделювання та оптимізації траєкторії пацієнта, прогнозування і створення доказових методичних засад відновлення пацієнта тощо. Таким чином *сервісний підхід* до функціональної архітектури є головною вимогою як до архітектурних рішень, так і до реалізації базових інформаційних технологій.

Однією з важливих переваг сервіс-орієнтованої архітектури є можливість підтримки систем *дослідного проєктування* [1], де процес проєктування цільової архітектури супроводжується процесом наукових досліджень. В нашому випадку мова йде перш за все про пошук і відпрацювання комплексу математичних моделей і методів оптимізації реабілітаційної траєкторії пацієнта і всіх її складових, починаючи з постановки цілі і розробки програми реабілітації аж до прогнозування стану пацієнта, оцінки ефективності реабілітаційного процесу і прийняття відповідних рішень на кожному з етапів життєвого циклу, виявлення

зв'язків між фізичними і психологічними показниками здоров'я, формування пацієнт-центричного портрету і безумовно економічних факторів.

Друга важлива частина дослідницьких робіт відноситься до інформаційно-аналітичної складової, перш за все методів і засобів штучного інтелекту, спрямованих на розробку і розширення довідкових і діалогових функцій, що підтримують і покращують роботу міждисциплінарної реабілітаційної команди як в офлайн, так і в режимі реального часу.

Головна особливість систем дослідного проєктування є постійне розширення їх функціональності, *розвитку*. В умовах обмеженого обчислювального ресурсу, починаючи з перших етапів проєкту, необхідно планувати навантаження системи, використовуючи різні форми і методи балансування на різних рівнях (операційної системи, прикладних програм кластеризації тощо). Одним з відомих рішень щодо останньої є використання системи MOSIX, що працює під Linux-ом [8].

Посилаючись на [5], виділимо коротку підбірку вимог до функціональної архітектури та основних складових ТРП (див. таблицю 2.1).

Таблиця 2.1 – Специфікація загальних вимог до системи ТРП в цілому

Ви- моги код	Вимоги опис
А	Архітектура системи
А1	Кожен компонент системи повинен являти собою окремий сервіс, що взаємодіє з іншими через HTTP / HTTPS протокол.
А2	Для передачі даних між компонентами (сервісами) системи повинні використовуватися POST-запити. Сервіси повинні мати можливість відповідати за всіма адресами свого API також і на GET-запити за допомогою HTTP-відповіді, але лише як повідомлення, що сервіс працює (обов'язково) або для відображення графічного інтерфейсу (якщо таке передбачено для даного сервісу).

A3	Графічні інтерфейси користувача системи повинні являти собою незалежні окремі додатки, які взаємодіють з API-сервісами, що виконують основну програмну логіку та зберігають дані.
A4	Загальний формат передачі даних між частинами системи – JSON (пріоритетний) або XML.
B	Бази даних
B1	Система може використовувати, відповідно до потреб конкретного компоненту, графові, реляційні та орієнтовані на документи бази даних.
B2	Дані онтологічного графу зберігаються в форматі XML, OWL або іншому вбудованому форматі, що передбачений СУБД, що його опрацьовує.
B3	Для зберігання і забезпечення доступу до OWL онтологій використовується база даних, що орієнтована на документи, наприклад MongoDB.
B4	Для роботи з онтологіями у форматі OWL слід застосовувати функції бібліотеки RDFLib (Python), або іншої бібліотеки, яка здатна виділяти набори RDF-трійок з OWL і виконувати запити на мові SPARQL.
B5	Модуль забезпечення роботи інтерфейсу користувача здійснює зберігання технічної інформації (дані про реєстрацію, сесії, поточний діалог, тощо) у реляційній базі даних (наприклад, PostgreSQL).
B6	Забезпечити можливість обміну даними компонентів системи з центральною базою даних (ЦБД) онтологічного типу через відкритий прикладний програмний інтерфейс (далі – API).
B7	Забезпечити можливість внесення інформації до ЦБД системи через свій інтерфейс українською мовою з можливістю використання латинських літер та числових символів.
C	Інтерфейс користувача
C1	Інтерфейс користувача повинен бути графічним, зрозумілим і зручним у використанні.

C2	Забезпечити варіанти графічного інтерфейсу користувача у наступних видах: web-сторінка, що відображається у браузері; бот в існуючій системі обміну повідомленнями (якщо доцільно), мобільний додаток, що підтримує зв'язок з сервісами через API.
C3	Мова інтерфейсу користувача – українська.
D	Мова і термінологія
D1	Назви хвороб і ступенів функціональності, що містяться в системі та її базах даних, повинні відповідати Міжнародній класифікації функціонування, обмежень життєдіяльності та здоров'я.
D2	У компонентах системи допускається вживання стандартних символів латинського (англійського) алфавіту у наступних випадках: – наведення імені чи назви мовою оригіналу; – наведення латинських назв; – написання математичних виразів та хімічних формул; – назви брендів, торгівельних марок, компаній; – посилання на веб-ресурси; – e-mail адреси.
E	Програмний інтерфейс (API)
E1	Кожен агент та сервіс, що входить у систему, повинен мати програмний інтерфейс, що може взаємодіяти з іншими програмами за допомогою HTTP-запитів.
E2	В основу API усіх агентів і сервісів, які входять в дану систему, повинні бути покладені POST-запити.
F	Безпека інформації
F1	Доступ до інтерфейсу адміністратора надається тільки після введення відповідного логіну і паролю.
F2	Доступ до внесення змін до баз даних потребує окремого паролю і окремих прав адміністратора бази даних.

F3	У разі втрати паролю користувач має можливість змінити його, але тільки через відправлення електронного листа, на e-mail, який було вказано ним під час реєстрації.
F4	При обміні повідомленнями між агентами і сервісами системи повідомлення повинні містити пароль і імена сервісів відправника та одержувача.
F5	Програмні файли системи зберігаються на сервері в окремому каталозі, доступ до редагування вмісту якого має лише користувач з правами адміністратора.
F6	Доступ до інтерфейсу адміністратора здійснюється за окремим таємним url, посилання на який не повинно міститись ніде в інтерфейсі користувача (незалежно від статусу авторизації).
F7	Система повинна відповідати вимогам законодавства України «Про захист інформації в інформаційно-телекомунікаційних системах», «Про захист персональних даних».
G	Надійність системи
G1	Система TISP має гарантувати одночасну роботу не менше ніж 100 користувачів без збоїв.
G2	Виникнення помилки при роботі з певним користувачем не повинно призводити до зупинення, зависання чи руйнування всієї системи.
H	Реєстрація і авторизація
H1	Для реєстрації користувачеві достатньо вказати логін, e-mail та пароль.
I	Робота з API
I1	До всіх сервісів системи можна звернутися через їх API при вказуванні відповідних параметрів запиту, що може бути потрібним для емуляції їх роботи в системі в процесі тестування.

З позицій проєктного менеджменту, розподілу завдань і функціональних особливостей використання архітектури ТРП можна представити у вигляді трьох взаємодіючих підсистем:

- медико-реабілітаційної (МРПс);
- інформаційно-аналітичної (ІАПс);
- телереабілітаційної підсистеми (ТРПс).

Суттєвою особливістю системи є поєднання методів штучного інтелекту з точними математичними методами розв'язання складних задач, пов'язаних з оцінкою стану пацієнта, стратегією дистанційної діагностики і втручань за допомогою саме телереабілітаційних методів і засобів на всьому життєвому циклі пацієнто-центричних процедур відновлення організму онкохворої людини.

Загальну функціональну архітектуру ТРП має вигляд, представлений на рис. 2.1.

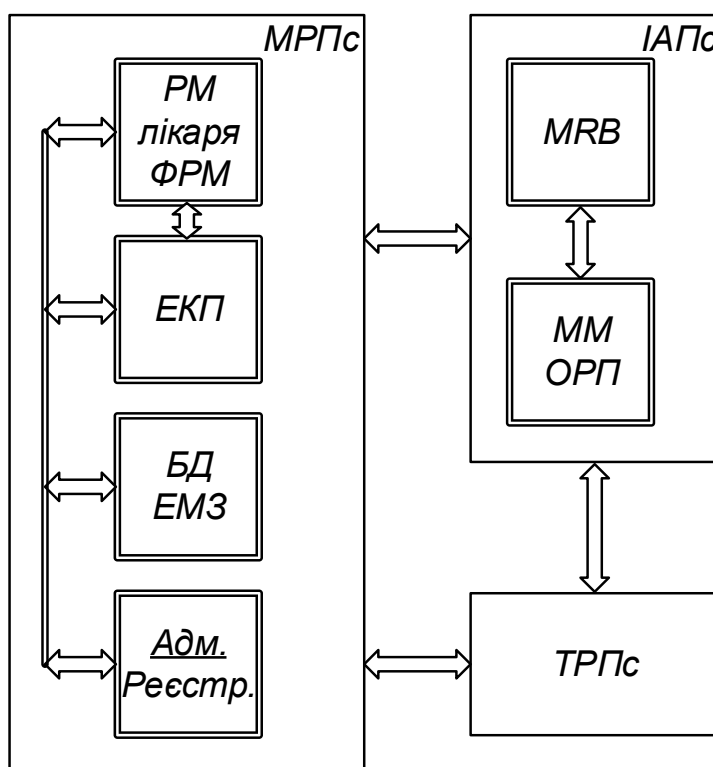


Рисунок 2.1 – Загальна функціональна структура ТРП.

МРПс – медико-реабілітаційна підсистема;

РМ – робоче місце;

ФРМ – фізична і реабілітаційна медицина;

ЕКП – електронний кабінет пацієнта;

БД ЕМЗ – база даних медичних записів;

Адм. – адміністратор;

Реєстр. – реєстратура;

ІАПс – інформаційно-аналітична підсистема;

MRB – Інтерактивна інформаційно-довідкова система MedRehabBot;

ММ ОРП – математичні моделі організації реабілітаційного процесу;

ТРПс – телереабілітаційна підсистема.

Наведена конфігурація ТРП виконує наступні функції:

- супроводження реабілітаційного процесу (оцінка стану пацієнта і формування реабілітаційного діагнозу, прогнозування показників реабілітаційного процесу), побудову маршруту оптимального реабілітаційного пацієнта;
- розробку методичних засад супроводження процесу реабілітації;
- підтримку інтерактивних функцій (лікар – пацієнт – система) у діалоговому режимі;
- накопичення і інтелектуальну обробку інформації з різних джерел;
- розробку комплексу методів моделювання та оптимізації при проектуванні та застосуванні ТРП;
- аналітичну обробку анкетних даних, статистичну обробку інформації;
- формування матриці «домени – шкали»;
- формування пацієнтоцентричних наборів процедур та їх супроводження в реальному часі;
- розробку діагностичних гаджетів визначення фізіологічного та психологічного стану пацієнтів, відео- та аудіо сеансів телереабілітації.

2.1.4 Трирівнева модель хмарної платформи телереабілітації онкологічних хворих

Хмарна платформа пацієнт-центричної телереабілітації онкологічних хворих (надалі ХП) побудована з використанням адаптованої трирівневої моделі надання сервісів у хмарі та хмарних обчислень [7].

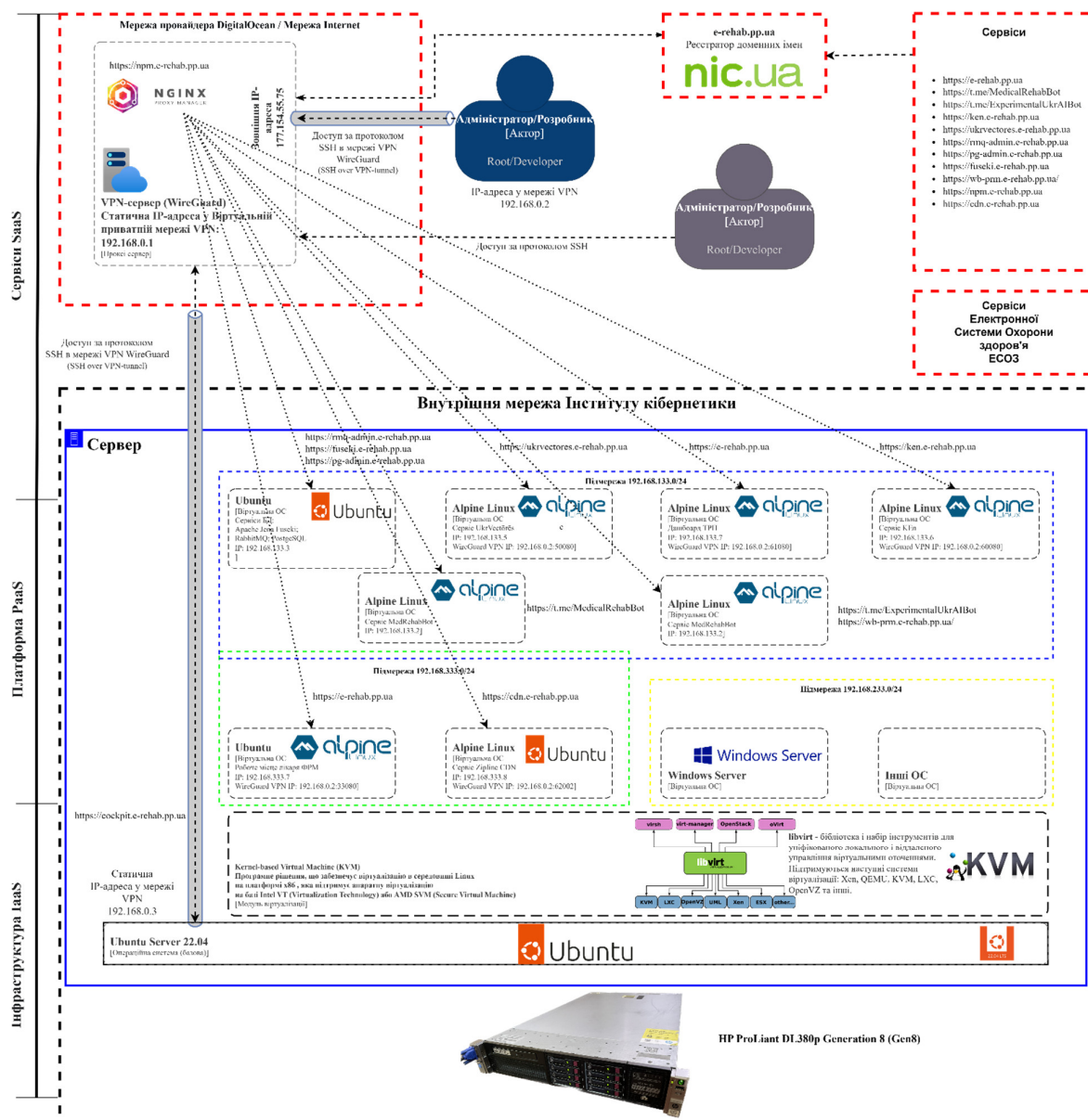


Рисунок 2.2 – Архітектурно-структурна організація Хмарної платформи пацієнто-центричної телереабілітації

Адаптована трирівнева модель надання сервісів у хмарі та хмарних обчислень складається з наступних рівнів.

Рівень *Інфраструктура* (в основі використана модель Інфраструктура як Сервіс, англ. Infrastructure as a Service, IaaS) – це рівень обслуговування, в межах якого надається можливість керувати засобами обробки та збереження, комунікаційними мережами, та іншими фундаментальними обчислювальними ре-

сурсами, на базі яких можливе розгортання та виконання довільного програмного забезпечення, до складу якого можуть входити операційні системи (ОС), прикладне програмне забезпечення (ПЗ) та системні утиліти. *Інфраструктура* складається з трьох основних компонентів: апаратні засоби (сервери, системи зберігання даних, клієнтські системи, мережеве обладнання); операційні системи та системне ПЗ (засоби віртуалізації, автоматизації, основні засоби управління ресурсами). ПЗ, що зв'язує процеси (наприклад, для управління віртуальними ОС).

Рівень *Платформа* (в основі використана модель Платформа як Сервіс, англ. Platform as a Service, PaaS) – на цьому рівні надається доступ до використання інформаційно-технологічних платформ – операційних систем, систем управління базами даних, зв'язного програмного забезпечення, засобів розробки і тестування розміщених в хмарі підсистем. Вся інформаційно-технологічна інфраструктура, включаючи обчислювальні мережі, системи зберігання, цілком керується провайдером, ним же визначається набір доступних для розробників видів платформ та набір керованих параметрів платформ, а розробникам надається можливість використовувати платформи, створювати їх віртуальні екземпляри, встановлювати, розробляти, тестувати, експлуатувати на них прикладне програмне забезпечення, при цьому динамічно змінюючи кількість споживаних обчислювальних ресурсів.

Рівень *Сервіси* (в основі використана модель Програма як Сервіс, англ. Software as a Service, SaaS) – на цьому рівні кінцевому споживачеві (клієнту) надається доступ за допомогою тонкого клієнта (через веб-браузер) або прикладного програмного інтерфейсу API до розроблених сервісів та ПЗ.

Загальна діаграма архітектурно-структурної організації ХП та її компонентів представлено на рис. 2.2. Вона містить наступні компоненти (апаратне та програмне забезпечення, зовнішні сервіси, інтерфейсну та мережеву складові):

Сервер HP ProLiant DL380p Generation8 (Gen8). Цей високопродуктивний сервер є ключовим компонентом рівня Інфраструктура ХП. Розташований в спеціалізованому приміщенні Інституту кібернетики, він гарантує надійність та

високу доступність служб та ресурсів платформи. Технічні можливості сервера включають: CPU – два процесори Intel® Xeon® Processor E5-2695 v2, що забезпечують високу швидкодію та багатозадачність; RAM – 400 Гб Advanced ECC пам'яті, що дозволяє ефективно обробляти великі обсяги даних; Сховище даних – два SSD 400 Гб у RAID 1 для додаткової надійності та вісім SSD 400 Гб у RAID 10 для оптимізації швидкості і довговічності дискового простору; Мережеве підключення – 100 Мбіт/с, що забезпечує швидкий доступ до ресурсів і даних; Блок Живлення – два блоки живлення по 460 Ват, що гарантують безперебійну роботу сервера; Джерело безперервного живлення – Eaton 5Cs 1500VA, що забезпечує захист від перебоїв в електромережі та роботу обладнання у випадку відключення електроенергії.

Базова ОС. Ubuntu 22.04.3 LTS Jammy Jellyfish служить базовою ОС для сервера. Ця версія Ubuntu відома своєю стабільністю, надійністю та широким спектром підтримуваних застосунків для робочих станцій та серверів. Вона входить до складу рівня Інфраструктура ХП, забезпечуючи надійне функціонування та взаємодію всіх компонентів платформи.

Модуль Віртуалізації на базі Kernel-based Virtual Machine (KVM). ПЗ KVM – це високопродуктивне програмне рішення для віртуалізації, яке інтегроване безпосередньо в ядро Linux. Розроблене специфічно для архітектури x86, KVM використовує можливості сучасних процесорів Intel та AMD, що підтримують апаратну віртуалізацію, через технології Intel VT (Virtualization Technology) та AMD SVM (Secure Virtual Machine) відповідно. Однією з ключових особливостей KVM є те, що він дозволяє запускати численні віртуальні машини з різними операційними системами на одному фізичному хості, при цьому кожна віртуальна машина використовує власне ядро Linux, а ресурси розподіляються ефективно та гнучко завдяки інтеграції з ядром операційної системи. Рівень Інфраструктура ХП.

Модуль керування віртуальними оточеннями LibVirt. Цей модуль разом з комплектом відповідних інструментів надає можливість уніфікованого керування віртуальними оточеннями, незалежно від їх розташування — локально чи

віддалено. Однією з ключових особливостей LibVirt є її універсальність та гнучкість: вона підтримує широкий спектр систем віртуалізації, зокрема Xen, QEMU, KVM, LXC, Virtuozzo, VirtualBox, Microsoft Hyper-V та інші. Це робить LibVirt ідеальним вибором для адміністраторів та розробників, які шукають гнучке та ефективне рішення для управління віртуалізацією в різноманітних оточеннях. Рівень *Інфраструктура XII*.

Віртуальні ОС. На рівні Платформа XII використовуються різноманітні спеціалізовані ОС. Ці системи відіграють ключову роль у забезпеченні стабільної та ефективної роботи всіх компонентів платформи, включаючи сервіси, модулі та підсистеми. До списку віртуальних ОС, що застосовуються на цьому рівні, входять: Ubuntu 22.04.3 LTS Jammy Jellyfish, яка відома своєю надійністю та підтримкою спільноти; Alpine Linux 3.18 – легка та безпечна операційна система, ідеально підходить для контейнерів; Microsoft Windows Server 2022 – надійна платформа для розгортання корпоративних застосунків; Microsoft Windows 10 Pro, яка забезпечує широкий набір інструментів та функцій для професійних користувачів.

Проксі-сервер / VPN-сервер. Зовнішній віртуальний виділений сервер (англ. virtual private server, VPS), який забезпечує функціонування віртуальної приватної мережі (англ. virtual private network, VPN) за сучасним протоколом безпеки WireGuard. WireGuard відрізняється високим рівнем захисту даних та оптимізованою продуктивністю. Разом з цим, на цьому сервері діє проксі-сервер Nginx Proху Manager, що відповідає за керування доменами, SSL-сертифікатами, перенаправленнями і потоками. Цей набір інструментів дозволяє забезпечити надійний, безпечний та гнучкий доступ до ресурсів мережі, а також оптимізувати і автоматизувати процеси управління веб-трафіком. Рівень *Сервіси XII*.

Реєстратор доменних імен. Сервіс NIC.UA відповідає за реєстрацію та управління доменним іменем Хмарної платформи – *e-rehab.pp.ua*. Додатково, NIC.UA забезпечує стабільність та безпеку субдоменів, що використовуються для різноманітних сервісів, модулів та компонентів платформи. Вибір такого

реєстратора гарантує не тільки надійність, але й простоту управління доменними ресурсами, а також можливість швидкого розширення та адаптації до нових вимог та потреб користувачів платформи. Слід зауважити, що доменні імена в зоні *pp.ua* надаються в Україні безкоштовно. *Рівень Сервісу ХП.*

Мережева складова ХП. В основі мережевої структури лежить внутрішня мережа Інституту кібернетики, яка характеризується високим рівнем ізоляції. Ця закрита мережа інтегрована з зовнішнім Проксі-сервером/VPN-сервером через надійний VPN-тунель, базований на технології WireGuard. Така конфігурація дозволяє ефективно і безпечно виконувати обмін даними між інтернетною мережею Інституту кібернетики та зовнішнім інтернет-простором, гарантуючи при цьому конфіденційність, цілісність та доступність інформації.

2.2 Висновки до розділу

Виконано аналіз технічних вимог до архітектури телереабілітаційної платформи, орієнтованої на онкологічно хворих, зокрема на рак молочної залози. В якості базової запропоновано сервіс-орієнтовану архітектуру, яка забезпечує масштабованість сервісів, скорочує час реалізації проєкту, полегшує інтеграцію прикладних програм і таким чином розвиток і модернізацію ТРП. Однією з важливих переваг сервіс-орієнтованої архітектури є можливість підтримки режиму дослідного проєктування, при якому процес проєктування цільової системи супроводжується новими науковими дослідженнями, направленними на оптимізацію структури і функцій ТРП, зокрема методичну складову з використанням сучасних засобів штучного інтелекту і математичного апарату при формуванні реабілітаційної траєкторії пацієнта. Не останнє місце при цьому займе розробка інтелектуалізованих довідкових і діалогових систем, що підтримують взаємодію з пацієнтом і роботу міждисциплінарної команди як в офлайн, так і в режимі реального часу.

Список використаної літератури розділу 2

1. Палагін О. В. Штучний інтелект і проблеми телереабілітації. *Ювілейна міжнародна конференція «Глушковські читання»*. 26 жовтня 2023 р. м. Київ.

2. Palagin O. V., Malakhov K. S., Velychko V. Yu., Semykopna T. V. Hybrid e-rehabilitation services: SMART-system for remote support of rehabilitation activities and services. *International Journal of Telerehabilitation*. Special Issue: Research Status Report – Ukraine, 2022. DOI: <https://doi.org/10.5195/ijt.2022.6480>.
3. Палагін О. В., Семікопна Т. В., Чайковський І. А., Сивак О. В. Телереабілітація: інформаційно-технологічна підтримка та досвід використання. *Клінічна інформатика і Телемедицина*. 2020. 15 (16). С. 35-44. DOI: <https://doi.org/10.31071/kit2020.16.15>.
4. Кургаєв О. П., Палагін О. В. Біологічний зворотний зв'язок для реабілітації людей з обмеженими можливостями. *Український журнал фізичної та реабілітаційної медицини*. 2021. 9 (3-4). С. 73–78. DOI: <https://doi.org/10.54601/2523-479X.2021.9.3-4.9>.
5. Трансдисциплінарна інтелектуальна інформаційно-аналітична система супроводження процесів реабілітації при пандемії : колективна монографія за ред. О. В. Палагіна. Київ : Просвіта, 2021. 348 с. DOI: 10.54521/ibs34.
6. Palagin O. V., Malakhov K. S., Velychko V. Yu., Semykopna T. V., Shchurov O. S. Digital health systems: Smart-system for remote support of hybrid e-rehabilitation services and activities. *Укр ПРОГ-2022* : 11-12 жовтня, 2022р. *Проблеми програмування*. № 3-4.
7. Cloud computing / Bhowmik S. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom, 2017. P. 407.
8. Нові інформаційні технології, моделювання та автоматизація : монографія / за заг. ред. С. В. Котлика. Одеса : Екологія, 2022. 724 с.
9. Palagin O., Kaverinskiy V., Litvin A., Malakhov K. OntoChatGPT Information System : Ontology-Driven Structured Prompts for ChatGPT Meta-Learning. *International journal of computing*. 2023. 22 (2). P. 170-183. DOI: <https://doi.org/10.47839/ijc.22.2.3086>.
10. Kaverinsky V. V., Malakhov K. S. MedRehabBot. URL: <https://github.com/knowledge-ukraine/MedRehabBot> (дата звернення: 06.11.2023).

3 ІНФОРМАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНА ПІДТРИМКА ПРОГРАМИ ТЕЛЕРЕАБІЛІТАЦІЇ ПАЦІЄНТІВ, ХВОРИХ НА РМЗ

3.1 Алгоритмізація процесу реабілітації з урахуванням фазових обмежень на реабілітаційну програму

Гібридна хмарна платформа та створена на її основі інформаційна технологія телереабілітації онкологічних хворих обслуговує широке коло спеціалістів з фізичної і реабілітаційної медицини (ФРМ) в секторі «Телереабілітація онкологічних хворих» [1].

Всі заплановані задачі орієнтовані на: прогнозування поточного та загального стану пацієнтів, стратегії втручання в процес реабілітації, кластеризацію онкохворих, розподіл фінансів на лікування тощо. Технологічна платформа інтерактивних знань реалізується у вигляді компонентної сукупності сервісів [2, 3]. Кожен сервіс забезпечує динамічне формування замовленого функціоналу за допомогою онтолого-керованої сервіс-орієнтованої архітектури. Когнітивні сервіси базової інформаційної технології забезпечують реалізацію інформаційно-аналітичних платформ, спроможних оперативно й інтегровано обробляти всю інформацію, що формується у просторово-розподілених мережевих джерелах, безперервно отримувати її та обробляти усіма профільними фахівцями, учасниками реабілітаційних заходів [4-11].

Стрімке зростання обсягів інформації, розвиток ІТ та алгоритмів штучного інтелекту відкривають нові можливості у формуванні пацієнто-центричної реабілітаційної екосистеми.

Функції технологічної платформи гуртуються довкола декількох груп користувачів:

- *пацієнта* – центрального суб'єкта системи реабілітації, який отримує медичну допомогу та реабілітаційні послуги та активно співпрацює зі спеціалізованими медичними працівниками для досягнення найкращих результатів в процесі лікування;
- *надавачів спеціалізованої медичної допомоги*, в якості яких висту-

пають реабілітаційні відділення, центри або заклади з різними формами перебування пацієнтів – стаціонарним, амбулаторним або віддаленим; вони забезпечують медичну і фізичну інфраструктуру для проведення реабілітаційних процедур та догляду за пацієнтами;

– *фахівців фізичної реабілітаційної медицини (ФРМ)*, тобто лікарів ФРМ, психотерапевтів, ерготерапевтів та інших спеціалістів, які займаються розробкою та впровадженням індивідуальних реабілітаційних програм для пацієнтів та надають медичні консультації та підтримку у процесі відновлення здоров'я.

Співпраця між цими учасниками допомагає створити ефективну та дієву реабілітаційну систему, спрямовану на забезпечення добрих результатів для пацієнтів, які потребують реабілітації. Кожна група має свої унікальні функції та внесок у процес реабілітації, але всі вони працюють на одну спільну мету – покращити якість життя пацієнтів та допомогти їм повернутися до повноцінного життя після захворювань або операцій.

Лікар ФРМ оцінює й узгоджує алгоритм із можливостями фахівців реабілітаційного центру, їх завантаженням. Далі, враховуючи цілі реабілітації, обмеження та можливості пацієнта і фахівців, обирає оптимальну мультидисциплінарну команду з доступних фахівців, узгоджує її з пацієнтом та планує її роботу, відображаючи план у календарі усіх учасників реабілітаційної програми. Під час виконання запланованої реабілітаційної програми відбувається постійна комунікація з пацієнтом та фахівцями мультидисциплінарної команди через заповнені щоденники та вербальну комунікацію, що дає можливість при потребі коригувати реабілітаційну програму або її завершити. Важливим етапом реабілітаційної програми є оцінка результативності на проміжному етапі або по завершенні програми для її корекції або побудови індивідуальної реабілітаційної програми для пацієнта [12-16].

В роботі лікаря ФРМ, інших фахівців з реабілітації необхідно забезпечити Персоналізований супровід Експертної системи у визначенні цілей, додаткових

обстежень, виборі кодів МКФ та їх ваговій оцінці, побудові реабілітаційної програми, підборі фахівців мультидисциплінарної команди та формуванні очікуваних результатів реабілітаційної програми [17-20]. Алгоритм побудови реабілітаційної траєкторії пацієнта представлено на рисунку 3.1.

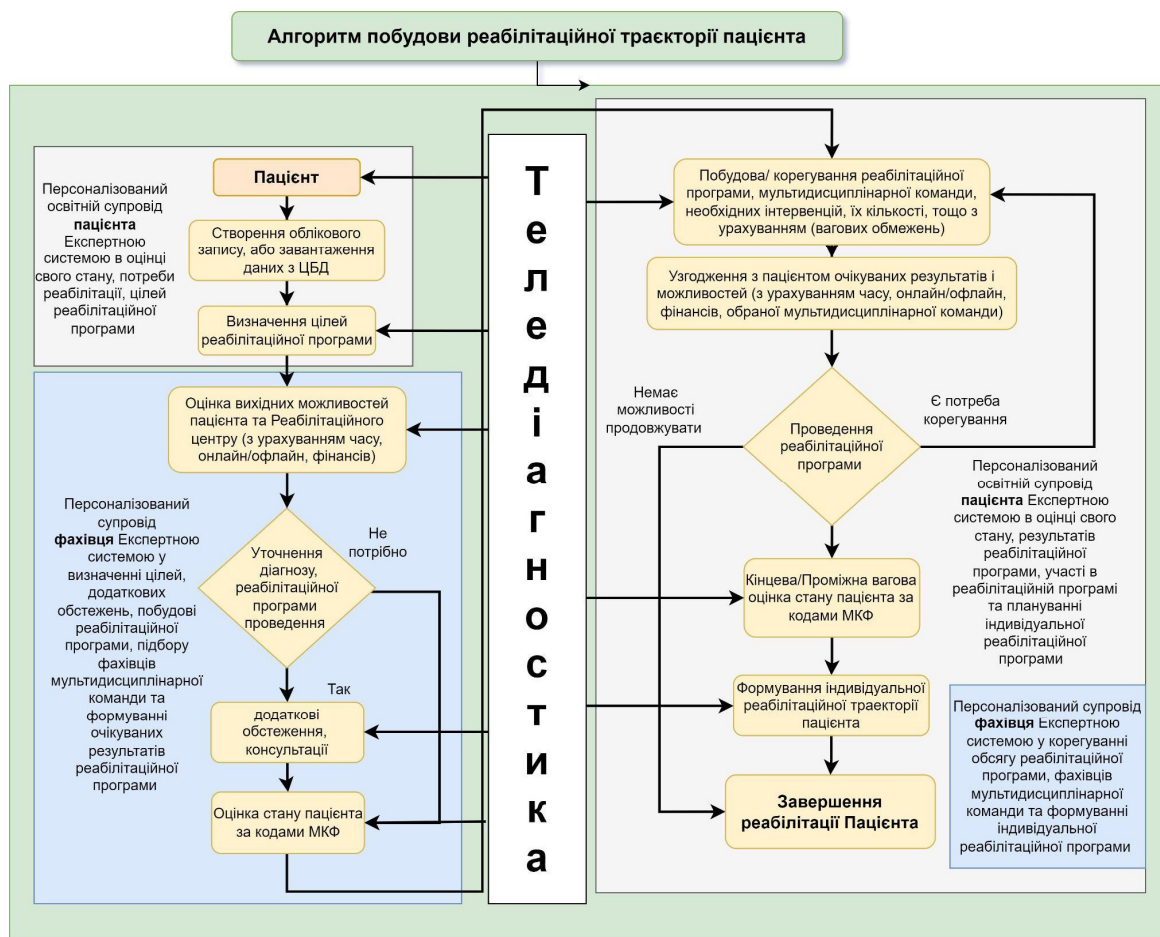


Рисунок 3.1 – Алгоритм побудови реабілітаційної траєкторії пацієнта

Матриця стану пацієнта – це інструмент систематизації та аналізу даних, що допомагає зробити об’єктивну оцінку та планування реабілітаційних заходів. Матрицю стану пацієнта можна представити у вигляді, наведеному у таблиці 3.1.

У цій матриці можуть бути вказані числові оцінки або кількісні показники для деяких параметрів (наприклад, результати тестування та оцінка за шкалою МКФ), а для інших параметрів можуть бути просто висновки або категорії (наприклад, опис попереднього досвіду пацієнта або оцінка задоволення пацієнта).

Таблиця 3.1 – Матриця стану пацієнта

Параметр	Опис
Біосигнали	Артеріальна осцилограма, ЕКГ та інш.
Функціональні проби	Висновки (текстові або числові значення)
Зображення	Комп'ютерна томографія, Флюорографія
Психічне тестування	Результати тестування (текстові або числові значення)
Оцінка з МКФ	Оцінка за шкалою МКФ
Вмотивованість пацієнта	Оцінка вмотивованості пацієнта
Попередній досвід пацієнта	Опис попереднього досвіду пацієнта
Задоволення пацієнта	Оцінка задоволення пацієнта

3.2 Структурний опис ТРП

Структурна схема ТРП (модулі) наведена на рисунку 3.2.

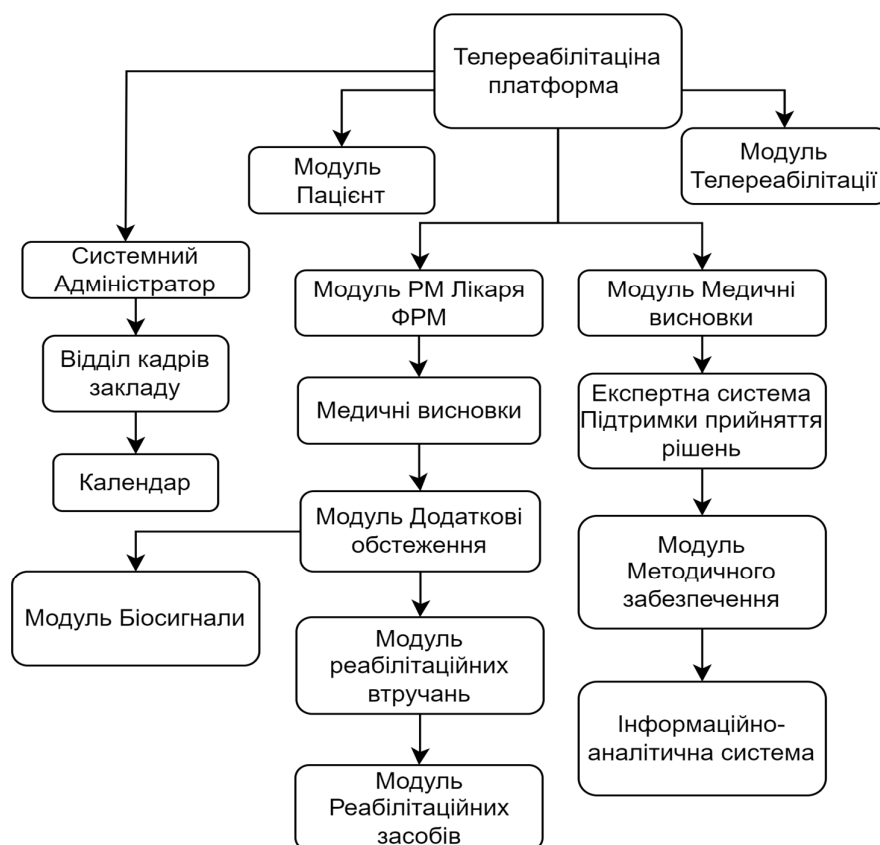


Рисунок 3.2 – Структурна схема ТРП

Хмарна платформа для пацієнто-центричної телереабілітації онкологічних хворих (ТРП) доступна за адресою <https://his.e-rehab.pp.ua/sign-in>. Вигляд початкової сторінки для логування користувачів у Хмарну платформу для пацієнто-центричної телереабілітації онкологічних хворих (ТРП) представлено на рисунку 3.3.

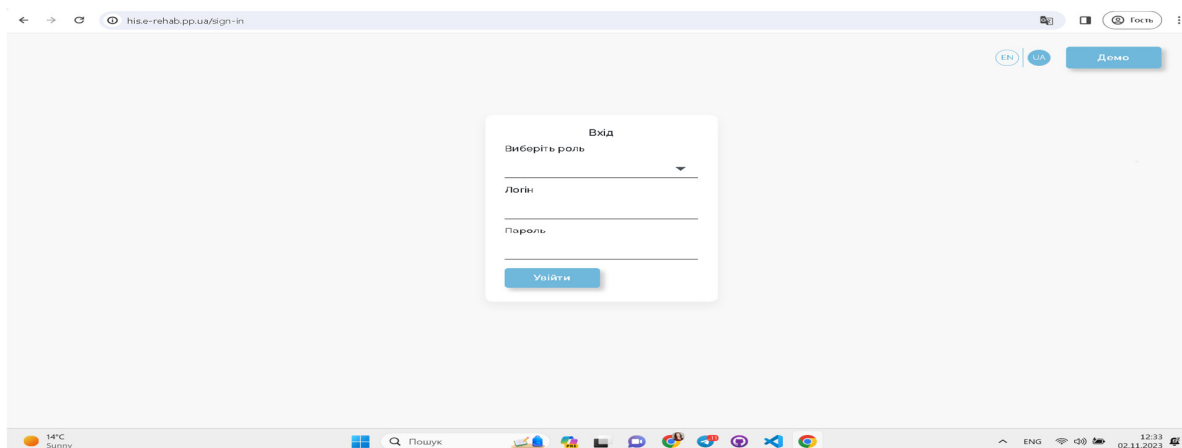


Рисунок 3.3 – Вигляд початкової сторінки для логування користувачів у Хмарну платформу для пацієнто-центричної телереабілітації онкологічних хворих (ТРП)

3.3 Робочий кабінет лікаря ФРМ

Вигляд домашньої сторінки після логування у ТРП під профілем лікаря ФРМ представлено на рисунку 3.4.

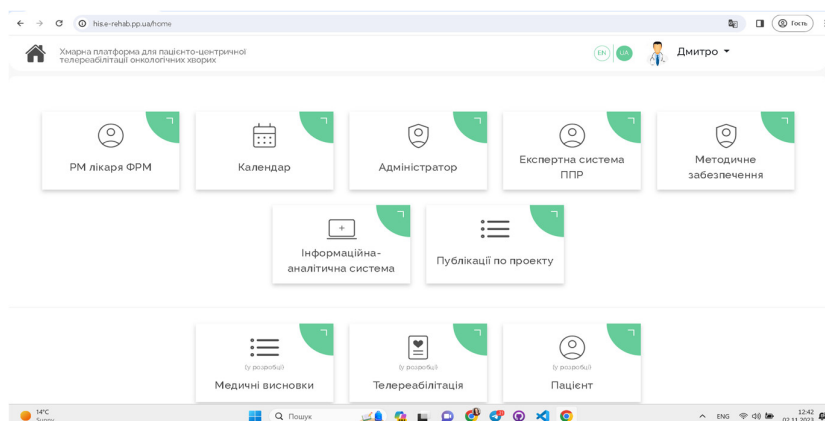


Рисунок 3.4 – Вигляд робочого кабінету Лікаря ФРМ з доступними для нього модулями Хмарної платформи для пацієнто-центричної телереабілітації онкологічних хворих (ТРП)

Модуль «Робоче місце лікаря фізичної та реабілітаційної медицини» (РМ лікаря ФРМ) включає різноманітні інструменти та функції, спрямовані на підтримку процесу телереабілітації пацієнтів. Система передбачає можливість вибору пацієнта та використання збережених моделей реабілітаційних програм.

Робота лікаря ФРМ з пацієнтом починається з пошуку пацієнта в базі даних (див. рисунок 3.5).



Рисунок 3.5 – Вікно інтерфейса ТРП пошуку пацієнта в базі даних за прізвищем та за номером направлення

Після вибору знайденого пацієнта за направленням, прізвищем стане доступним наступне вікно (див. рисунок 3.6).

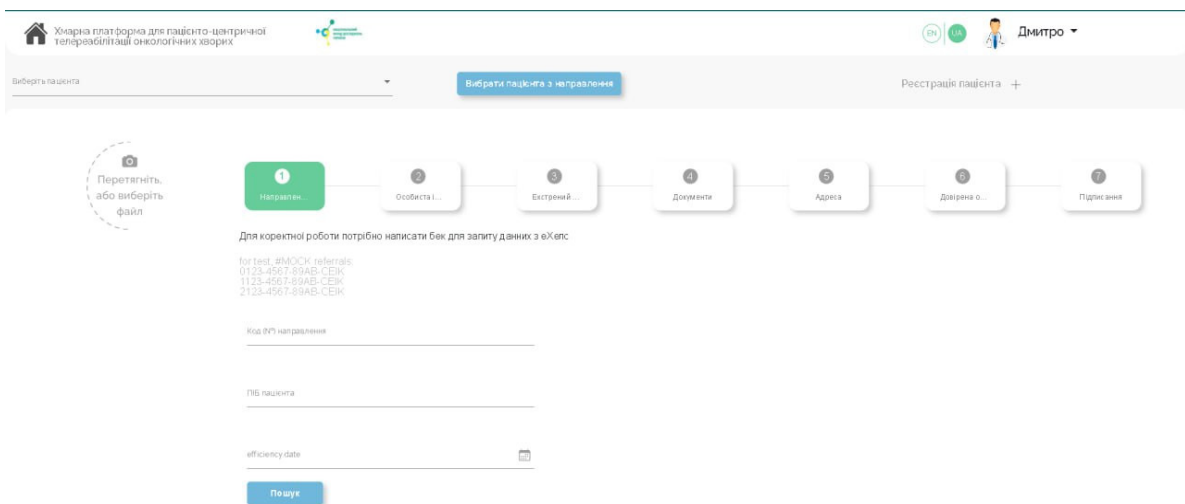


Рисунок 3.6 – Вікно інтерфейсу ТРП при пошуку пацієнта за направленням

У ТРП передбачено можливість для пацієнта провести реєстрацію свого особистого робочого кабінету самостійно та зареєструвати пацієнта в робочому кабінеті Лікаря ФРМ. Вигляд вікна інтерфейсу реєстрації пацієнта в особистому кабінеті Лікаря ФРМ представлено на рисунку 3.7.

Хмарна платформа для пацієнто-центричної телереабілітації онкологічних хворих

Вибрати пацієнта з направи

Регістрація пацієнта +

Дмитро

Перетягніть, або виберіть файл

1 Направлення

2 Особиста

3 Екстрений

4 Документи

5 Адреса

6 Довірена о...

7 Підписання

Дата поступлення: 26-04-2024

Дата виписки:

Прізвище: ... Ім'я: ... По батькові: ...

Дата народження: ... Стать: ... Електронна пошта: ...

Унікальний номер запису в ЄДІР: ... ІПН: ... ☐ ІПН відсутній

Країна: ... Місто народження: ... Кодові слово: ...

Вибір типу: ... Телефон: ... Бажаний спосіб зв'язку: ...

Номер страхового полісу: ... Діє до: ...

Метод авторизації: ... Телефон: ... Довірена особа: ...

Назва методу аутентифікації: ...

Рисунок 3.7 – Вигляд вікна інтерфейсу:
реєстрація пацієнта в особистому кабінеті Лікаря ФРМ

Після обрання пацієнта вкладка РМ лікаря ФРМ приймає вигляд, представлений на рисунку 3.8.

his.e-rehab.pp.ua/staff-room/profile

Хмарна платформа для пацієнто-центричної телереабілітації онкологічних хворих

Дмитро

Петренко Марія Петрівна

Вік 24 р. Жінка

Активний Пацієнт

Дата поступлення: 01/04/2023

Дата виписки: --

Пароль: [icon]

Перетягніть, або виберіть файл

Профіль

Реабілітація

Історія

Цілі

Додаткові обстеження

Обстеження

Консультування

Функціональні проби

Інші проби та тести

Всі виконані тести

МКХ

МКФ

АКМІ

Категорійні цілі

Особиста інформація

Екстрений контакт

Інформація про довірену особу

Рисунок 3.8 – Вигляд Робочого місця лікаря ФРМ у ТРП

Доступ до Профілю Пацієнта, його Особистої інформації, Екстрених контактів, Інформації про довірену особу. Модуль Реабілітація включає Історію попередніх обстежень і реабілітаційних програм. Модуль Робота з цілями реабілітаційної програми надає можливість визначення мети реабілітаційної програми для кожного пацієнта. Ці цілі можуть бути індивідуалізованими залежно від стану та потреб пацієнта. За необхідності є можливість у Субмодулі спланувати додаткові Обстеження, Консультації, Функціональні проби та провести опитування.

Вигляд інтерфейсу модуля Робоче місце лікаря ФРМ з субмодулями Реабілітація, Додаткові обстеження та Реабілітаційні засоби у ТРП представлено на рисунку 3.9.

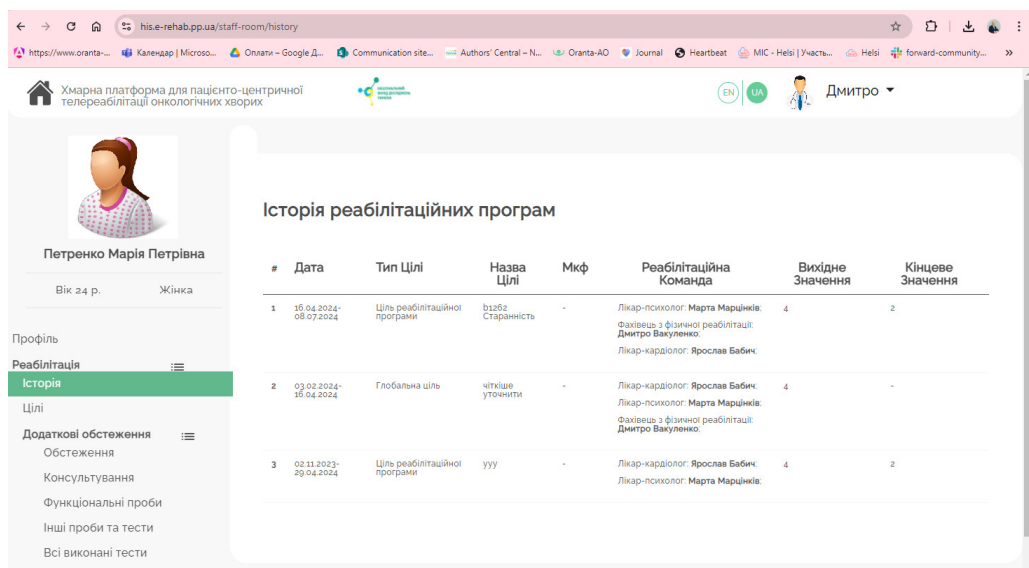


Рисунок 3.9 – Вікно інтерфейсу Робочого місця лікаря ФРМ з історією попередніх реабілітаційних програм пацієнтки у ТРП

Вигляд вікна інтерфейсу Робочого місця лікаря ФРМ у ТРП, субмодуль Робота з цілями реабілітаційної програми, представлено на рисунку 3.10.

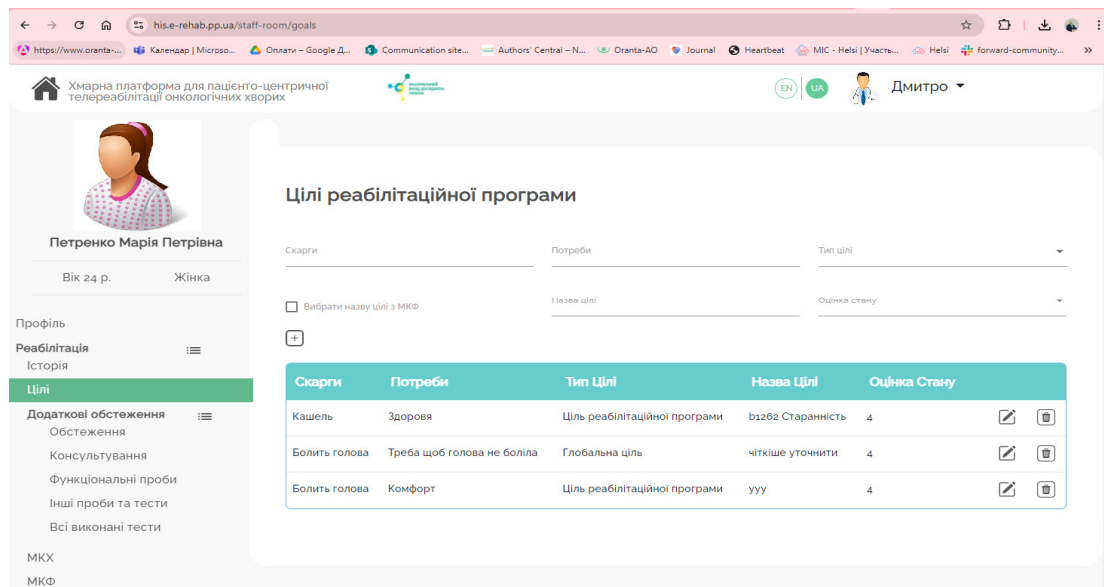


Рисунок 3.10 – Вигляд вікна інтерфейсу Робочого місця лікаря ФРМ у ТРП, субмодуль Робота з цілями реабілітаційної програми

Для уточнення діагнозу, плану реабілітації, оцінки її ефективності є можливість провести додаткові консультації, обстеження, функціональні проби.

В модулі ТРП передбачена ця можливість, і лікар ФРМ може запланувати для пацієнта необхідну інтервенцію, обравши з доступного переліку потрібного фахівця, вказавши необхідну кількість інтервенцій, частоту, та вартість. Із запропонованого переліку дат є можливість обрати необхідні. На рисунку 3.11 представлено вікно інтерфейса ТРП планування процедури (інтервенції) з вибором можливих дат та часу проведення обраної процедури.

Рисунок 3.11 – Вікно інтерфейса ТРП планування процедури (інтервенції) з вибором можливих дат та часу проведення обраної процедури

Після планування процедури (інтервенції) запланована подія відображається в календарі кожного причетного користувача. Вигляд вікна інтерфейсу календаря може відображати заплановані події на день, тиждень, місяць із запланованими процедурами (див. рисунок 3.12).

Рисунок 3.12 – Вигляд вікна інтерфейсу календаря, що відображає заплановані події на день, тиждень, місяць із запланованими процедурами

При відкритті додаткової інформації про заплановану процедуру (інтервенцію) в модальному вікні відображається дата, час, інформація про лікаря та пацієнта, назва процедури, місце її проведення та додаткова інформація в полі Коментар. Вигляд цього вікна представлено на рисунку 3.13.

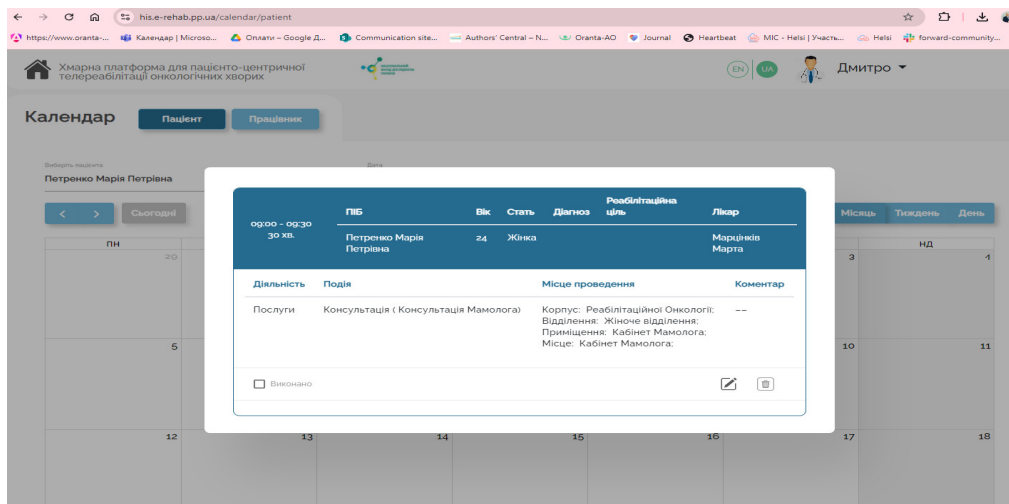


Рисунок 3.13 – Вигляд модального вікна інтерфейсу ТРП, де відображається дата, час, інформація про лікаря та пацієнта, назва процедури, місце її проведення та додаткова інформація в полі Коментар

На рисунку 3.14 представлена інформація про проведені обстеження та консультації.

#	Дата	Оцінка Нездатності Верхніх Кінцівок	Оцінка Професійні Спортсмени/Музиканти	Оцінка Розділ Роботи	Sport або Instrument, Що Найбільш Долюбляє	Діяльність	Висновки
1	24.08.2023 16:52	42.5	37.5	43.75	sport and music	work	Добре
2	24.08.2023 16:52	42.5	37.5	43.75	sport and music	work	Добре
3	24.08.2023 16:52	42.5	37.5	43.75	sport and music	work	Добре
4	24.08.2023 16:52	42.5	37.5	43.75	sport and music	work	Добре
5	24.08.2023 16:52	42.5	37.5	43.75	sport and music	work	Добре
6	24.08.2023 16:52	42.5	37.5	43.75	sport and music	work	Добре
7	24.08.2023 16:52	42.5	37.5	43.75	sport and music	work	Добре
8	24.08.2023 16:52	42.5	0	0			Відмінено
9	24.08.2023 16:52	42.5	37.5	43.75	sport and music	work	Добре
10	25.10.2023 13:59	91.66666412353516	100	100	test	test	Незадовільно
11	25.10.2023 15:38	90.83332824707031	0	0			Добре
12	25.10.2023 11:54	74.15555412353516	0	0			Відмінено

Рисунок 3.14 – Вигляд вікна інтерфейсу Робочого місця лікаря ФРМ у ТРП: інформація про проведені обстеження та консультації

Після проведених необхідних консультацій, функціональних проб Лікар ФРМ може перейти до оцінки стану пацієнта за міжнародними класифікаторами МКХ, МКФ, ІСНІ. Цей компонент дозволяє користувачам вносити і переглядати дані, пов'язані з направленнями та діяльністю Національної служби здоров'я України, а також використовувати міжнародні класифікатори ІСРС-2, МКХ, МКФ, ІСНІ.

Одним з основних засобів постановки реабілітаційного діагнозу та оцінки ефективності реабілітаційної програми є Міжнародна класифікація функціонування, обмежень життєдіяльності та здоров'я (МКФ), яка дає можливість оцінити не тільки порушення в компонентах функції та структури організму, його дії, залученість у середовище, а й ступінь порушення в межах від 0 до 9. Загалом структура МКФ містить понад 1400 категорій, що ускладнює її широке застосування у клінічній практиці. Для спрощення використання МКФ інтегровано понад 100 наборів кодів як для загальної оцінки станів (спрощені та розширені набори), так для кожної з підгруп серцево-судинних, легеневих, нервових та інших захворювань. Приклад вікна інтерфейсу ТРП вибору моделей представлено на рисунку 3.15.

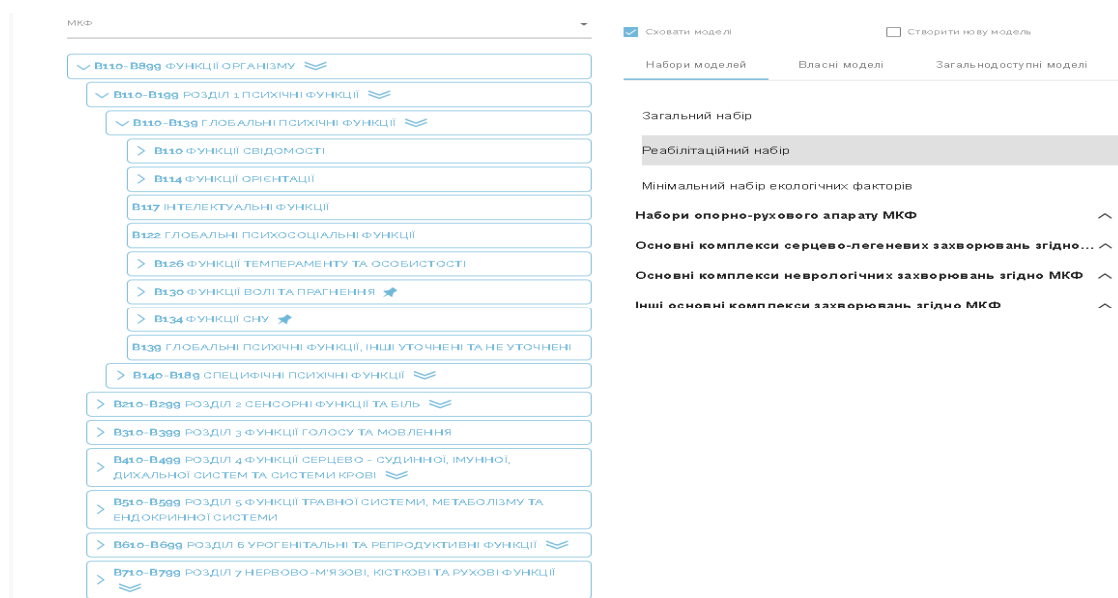


Рисунок 3.15 — Приклад вікна інтерфейсу ТРП: набори кодів МКФ

Після вибору необхідного набору відбувається відображення міток в каталозі рекомендованих компонент та кінцевих категорій. Вигляд вікна інтерфейсу ТРП з відображенням вибору ступеня відхилення від норми зображено на рисунку 3.16.

МКСФ

✓ Сховати модель ☐ Створити нову модель

Вибір функцій:

- В110-В899 ФУНКЦІЇ ОРГАНІЗМУ
 - В110-В199 РОЗДІЛ 1 ПСИХІЧНІ ФУНКЦІЇ
 - В110-В139 ГЛОБАЛЬНІ ПСИХІЧНІ ФУНКЦІЇ
 - В110 ФУНКЦІЇ СВІДОМОСТІ
 - В114 ФУНКЦІЇ ОРІЄНТАЦІЇ
 - В117 ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ФУНКЦІЇ**
 - В122 ГЛОБАЛЬНІ ПСИХОСОЦІАЛЬНІ ФУНКЦІЇ
 - В126 ФУНКЦІЇ ТЕМПЕРАМЕНТУ ТА ОСОБИСТОСТІ
 - В130 ФУНКЦІЇ ВОЛІ ТА ПРАГНЕННЯ
 - В134 ФУНКЦІЇ СНУ
 - В139 ГЛОБАЛЬНІ ПСИХІЧНІ ФУНКЦІЇ, ІНШІ УТОЧНЕНІ ТА НЕ УТОЧНЕНІ
 - В140-В189 СПЕЦИФІЧНІ ПСИХІЧНІ ФУНКЦІЇ
 - В210-В299 РОЗДІЛ 2 СЕНСОРНІ ФУНКЦІЇ ТА БІЛЬ
 - В310-В399 РОЗДІЛ 3 ФУНКЦІЇ ГОЛОСУ ТА МОВЛЕННЯ
 - В410-В499 РОЗДІЛ 4 ФУНКЦІЇ СЕРЦЕВО-СУДИННОЇ, ІМУННОЇ

Вибір ступеня відхилення від норми (для B117):

Величина порушень, що має людина...

Функції свідомості	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
?	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

Джерело інформації:

☐ 3 історії хвороби ☒ Зі слів пацієнта ☐ З клінічних обстежень

☐ 3 технічних обстежень

Визначення проблеми

Додати

Рисунок 3.16 – Вигляд вікна інтерфейсу ТРП:

відображення вибору ступеня відхилення від норми

Після обрання необхідних кодів МКФ вони додаються до спеціального модуля реабілітаційного діагнозу, де обрані коди МКФ відображаються згідно з категоріями функції та структури організму, дій, залученості у середовище, персональними факторами. Графічне відображення реабілітаційного діагнозу представлено на рисунку 3.17.

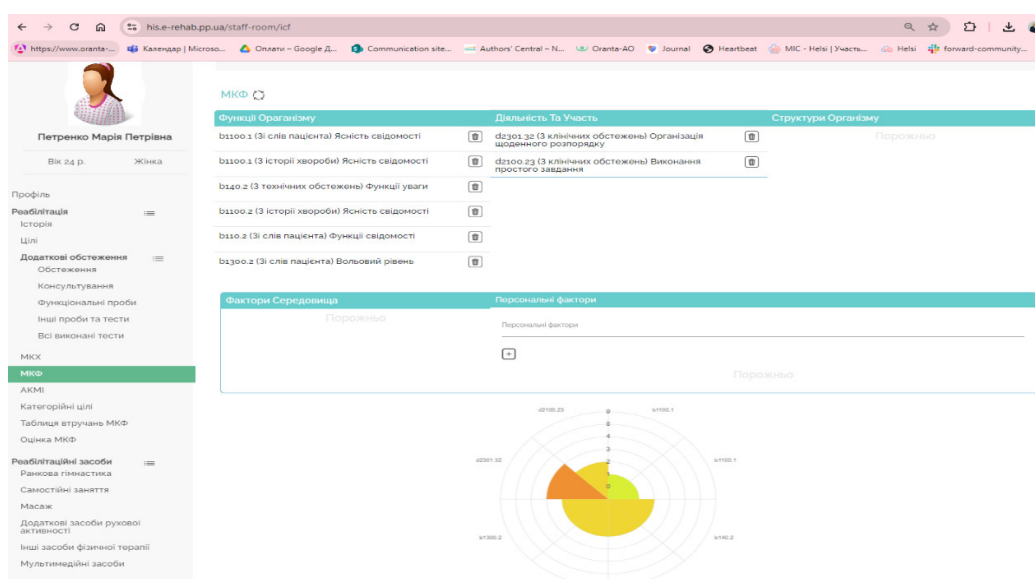


Рисунок 3.17 – Вигляд вікна інтерфейсу ТРП: обрані коди МКФ відображаються згідно з категоріями функції та структури організму, дій тощо; графічне відображення реабілітаційного діагнозу

Додатковим засобом для підбору індивідуалізованих наборів МКФ є набори, створені самостійно, з можливістю використовувати їх або самому, або зробити їх доступними в межах одного ЗОЗ чи для всіх користувачів ТРП.

Застосування Експертної системи з лінгвістичними моделями на основі аналізу потреб, цілей та результатів обстеження пацієнта дає можливість запропонувати оптимальні набори кодів МКФ.

3.3.1 Планування, компонування та оцінка ефективності реабілітаційної програми

Цей елемент дозволяє створювати плани реабілітаційних програм, включаючи категорійні цілі, таблиці втручань, перелік реабілітаційних засобів, а також оцінювати ефективність програми. В оцінці можуть брати участь фахівці з різних галузей – мультидисциплінарна команда.

Субзакладка Реабілітаційні засоби призначена для деталізації компонентів Реабілітаційної програми. Ця підкатегорія дозволяє докладніше визначити компоненти Реабілітаційної програми і включає такі засоби:

- *ранкова та лікувальна гімнастика*: фізичні вправи, які сприяють зміцненню м'язів та покращенню рухових функцій.
- *самостійне заняття*: вправи або завдання, які пацієнт може виконувати самостійно для підтримки реабілітації;
- *масаж*: техніки масажу, що використовуються для поліпшення кровообігу та зняття напруги;
- *додаткові засоби рухової активності*: різноманітні засоби та пристрої, які допомагають пацієнту відновити рухові навички;
- *інші засоби фізичної терапії*: інші фізичні методи та терапевтичні підходи для покращення здоров'я;
- *мультимедійні засоби*: використання різних медіаформатів (зображення, звук, відео) для охоплення психоемоційних та мотиваційних компонент засобами телереабілітаційних інтервенцій для хворих на РМЗ.

Для мультимедійного супроводу виконання пацієнтом вправ з категорій Ранкова гімнастика, Лікувальна фізкультура, Самостійні заняття, лікар ФРМ

може завантажити мультимедійні файли або зовнішнє посилання на них, встановити порядок їх відображення та надати назву цьому набору. Вигляд вікна інтерфейсу ТРП представлено на рисунку 3.18.

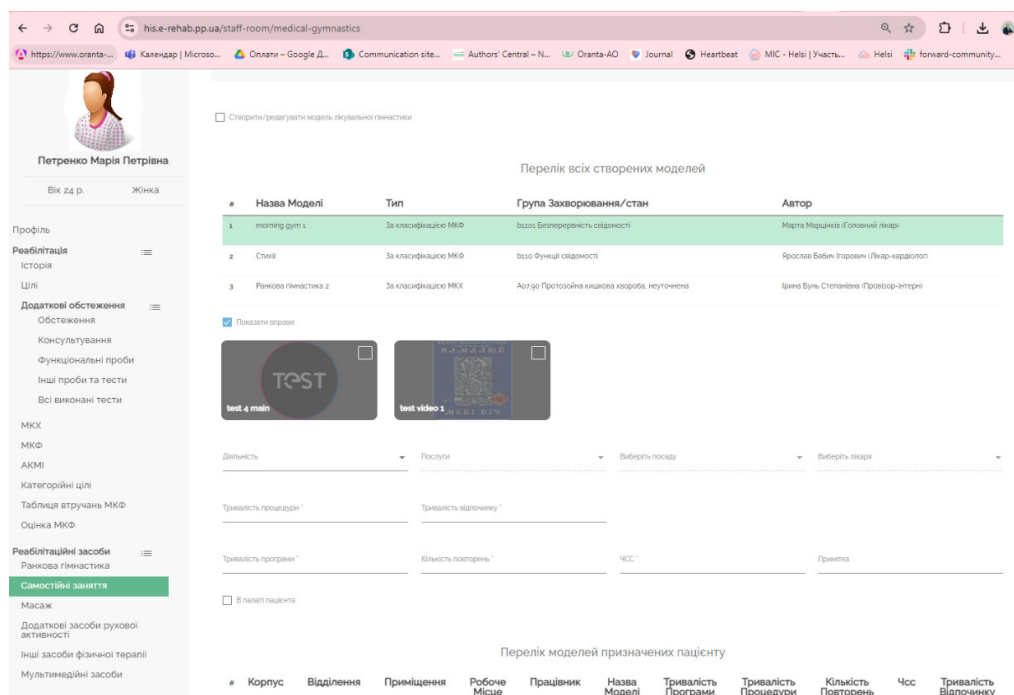
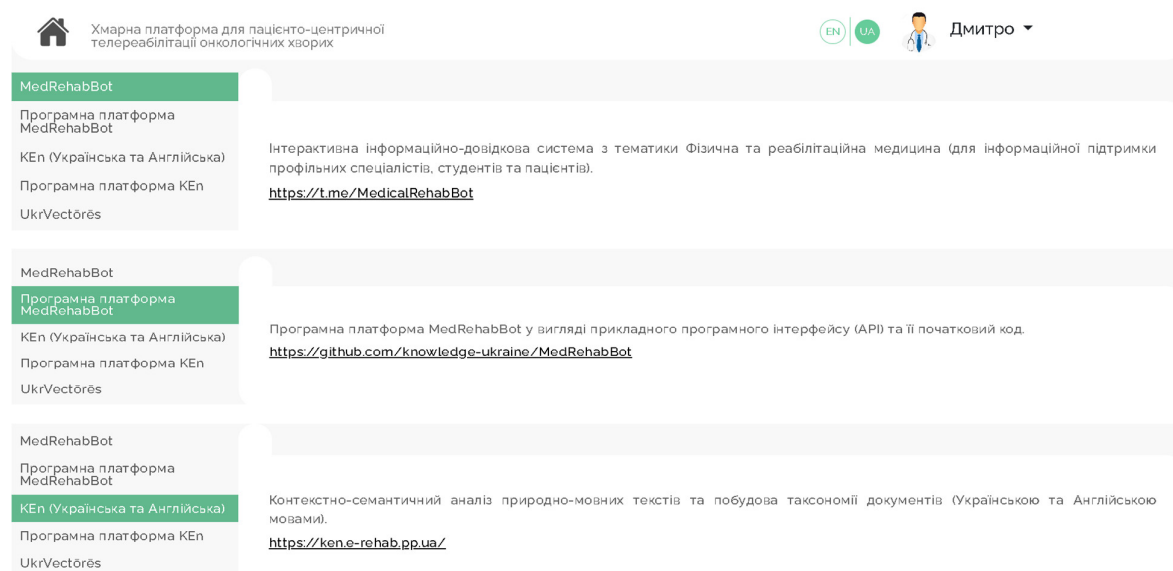


Рисунок 3.18 – Вигляд вікна інтерфейсу ТРП:

планування обсягу ранкової гімнастики з мультимедійною підтримкою

Вигляд вікна інтерфейсу модуля Інформаційно-аналітична підтримка фахівців мультидисциплінарної команди представлений на рисунку 3.19.



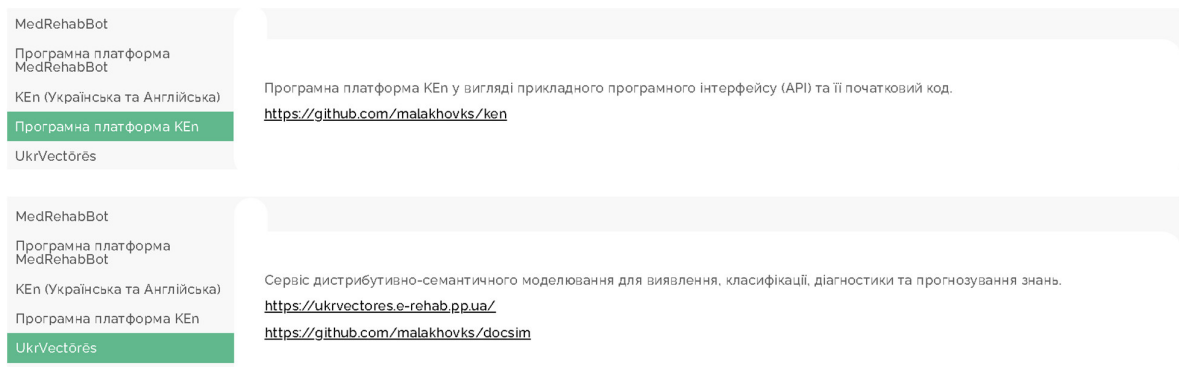


Рисунок 3.19 — Вигляд вікна інтерфейсу модуля

Інформаційно-аналітична підтримка фахівців мультидисциплінарної команди

3.3.2 Робота з ідентифікованими пацієнтами згідно з вимогами ЕСОЗ

Сучасна стратегія держави і МОЗ передбачає забезпечення збереження та облік медичних інтервенцій в центральному компоненті Електронної системи охорони здоров'я (ЕСОЗ). Медичні інформаційні системи можуть забезпечувати комунікацію з ЗОЗ. У ТРП розроблено модуль, який забезпечує комунікацію з центральним компонентом ЕСОЗ.

Згаданий модуль включає сервіс Реєстрація ЗОЗ, внесення назви підрозділу та місця надання послуг, реєстрацію працівників і пацієнтів, укладання декларацій, проведення прийомів, виписування направлень, рецептів та інше.

Приклад вікна інтерфейсу реєстрації пацієнтки представлено на рисунку 3.20.

Рисунок 3.20 — Приклад вікна інтерфейсу реєстрації пацієнтки в ЕСОЗ

3.4 Особистий кабінет пацієнта

Особистий кабінет пацієнта є складовою ТРП, яка передбачає можливість для пацієнта бути активним учасником реабілітаційного процесу шляхом участі у формуванні цілей реабілітаційної програми, запису на доступні консультації та послуги, ведення щоденника психофізіологічних показників під час проходження окремих призначених інтервенцій, реабілітаційної програми. У профілі пацієнта доступні субмодулі: Профіль, Запис на прийом, Працівники, Календар, щоденники запланованих реабілітаційних інтервенцій. Вигляд вікна інтерфейсу ТРП Профіль пацієнта представлено на рисунку 3.21.

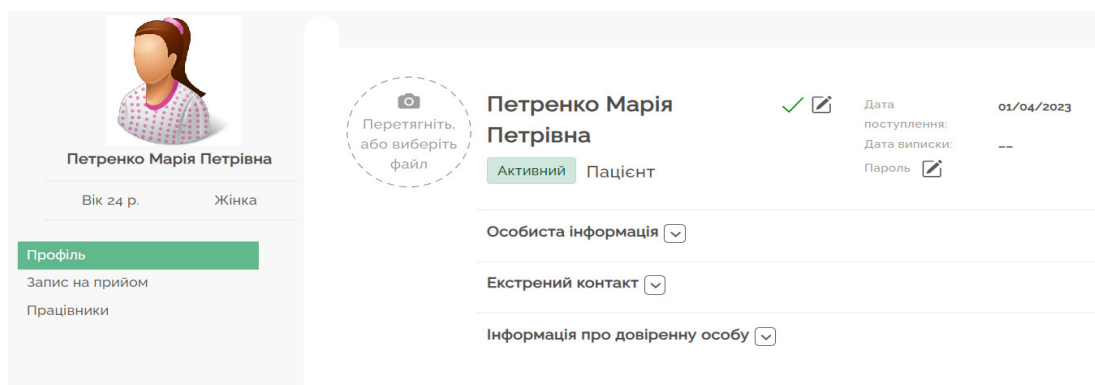


Рисунок 3.21 — Вигляд вікна інтерфейсу ТРП: Профіль пацієнта

Медичний заклад має можливість визначати послуги, на які пацієнт може записатись самостійно, вказавши їхню тривалість і вартість. На рисунку 3.22 показано вікно інтерфейсу планування процедур (інтервенцій) з вибором доступних дат і часу проведення обраної процедури у Профілі пацієнта.

Петренко Марія Петрівна
Вік 24 р. Жінка

Профіль
Запис на прийом
Працівники

Вибірть тип сервісу
Послуги

Діяльність
Консультація

Послуги
Консультація Мамолога

Вибірть лікаря
Бабич Ярослав Ігорович

Кількість процедур
3

Як часто
1 раз на день

Вибрати файл

Коментар

☐ В палаті пацієнта

2024
Su Mo Tu We Th Fr Sa
AUG
1 2 3
4 5 6 7 8 9 10
11 12 13 14 15 16 17
18 19 20 21 22 23 24
25 26 27 28 29 30 31

27-08-2024 28-08-2024
29-08-2024

Вибірть час
09:00 - 09:30 09:30 - 10:00
10:00 - 10:30 10:30 - 11:00
11:00 - 11:30 11:30 - 12:00

Створити записи в календарі

Рисунок 3.22 – Вікно інтерфейсу ТРП: профіль пацієнта, бронювання послуги

Після проведення планування процедури (інтервенції) запланована подія відображається в календарі кожного причетного користувача. На рисунку 3.23 представлено вигляд вікна інтерфейсу календаря, що відображає заплановані процедури на день, тиждень, місяць.

Хмарна платформа для пацієнто-центрованої телемоніторингової онкологічної допомоги

Сура Надія
Вік 27 р. Жінка

Профіль
Запис на прийом
Працівники
Календар

травень 2024 р.

1	2	3	4	5
6	7	8	9	10
11	12	13	14	15
16	17	18	19	20
21	22	23	24	25
26	27	28	29	30
31				

Рисунок 3.23 – Вікно інтерфейсу ТРП:

профіль пацієнта, календар із запланованими інтервенціями

При відкритті додаткової інформації про заплановану процедуру (інтервенцію) в модальному вікні відображається дата, час, інформація про лікаря та пацієнта, назва процедури, місце проведення та додаткова інформація в полі Коментар. Вигляд цього вікна представлено на рисунку 3.24.

The screenshot shows a modal window overlaid on a calendar grid. The window contains the following information:

09:00 - 09:30 30 хв.	ПІБ	Вік	Стать	Діагноз	Реабілітаційна ціль	Лікар
	Сура Надія	27 р.	Жінка			Бабич Ярослав Ігорович

Діяльність	Подія	Місце проведення	Коментар
Послуги	Консультація (Консультація Мамолога)	Корпус: Реабілітаційної Онкології; Відділення: Жіноче відділення; Приміщення: Кабінет Мамолога; Місце: Кабінет Мамолога;	--

At the bottom, there is a checkbox labeled "Виконано" (Completed) and two icons for editing and deleting.

Рисунок 3.24 – Вигляд модального вікна інтерфейсу ТРП, де відображається дата, час, інформація про лікаря та пацієнта, назва процедури, місце проведення та додаткова інформація в полі Коментар

Необхідним засобом документування стану пацієнта при проведенні інтервенцій є щоденник, який заповнює фахівець, що проводить інтервенцію, та сам пацієнт. Приклад вікна інтерфейсу щоденника зображено на рисунку 3.25.

The screenshot shows a web application interface for a patient diary. It includes a sidebar with navigation options and a main content area with a table of patient models.

Left Sidebar:

- Функціональні проби
- Інші проби та тести
- Всі виконані тести
- МКФ
- МКФ
- АКМІ
- Категорійні цілі
- Таблиця втручань МКФ
- Оцінка МКФ
- Реабілітаційні засоби
- Ранкова гімнастика
- Самостійні заняття**
- Масаж
- Додаткові засоби рухової активності
- Інші засоби фізичної терапії
- Мультимедійні засоби

Main Content Area:

Перелік моделей призначених пацієнту

#	Корпус	Відділення	Приміщення	Робоче Місце	Працівник	Назва Моделі	Тривалість Програми	Тривалість Процедури	Кількість Повторень	Час	Тривалість Відпочинку
01-05-2024 27/05/2024											
Показник до навантаження						Скарги	Відсутні				
						Вимір	Вибрати файл				
						Частота дих.	121				
						АТс	134				
						АТД	87				
						ЧСС	90				
Після навантаження						Скарги	Легка задишка				
						Вимір	Вибрати файл				
						Частота дих.	27				
						АТс	145				
						АТД	93				
						ЧСС	105				

Через 3-5 хв після навантаження

Скарги

Вимір

Частота дих.

АТС

АТД

ЧСС

Відсутні

Вибрати файл

18

128

84

81

Час повного відновлення (хв.)

7

ЕКГ

До навантаження

Після навантаження

Вибрати файл

Вибрати файл

Висновки щодо режиму

Навантаження відповідає функціональному стану

Алгоритм підготовки хворого та проведення самостійних занять

1. Визначте вище указані показники зразу після навантаження та через 3 хвилини після нього, зверніть увагу на наявність зовнішніх ознак втоми, внесіть їх в протокол.

2. Щодо оцінки зовнішніх ознак втоми: оцінити за ступенем прояву зовнішніх ознак втоми відповідно до таблиці і вказати цифри 1-2-3.

Критерії оцінки	До навантаження	Після навантаження (1 хв)	Після навантаження (3 хв)	Після навантаження, час відновлення (хв)
Самопочуття	Скарги відсутні	Легка задишка	Скарги відсутні	Скарги відсутні
Частота серцевих скорочень	90	105	91	
Частота дихання	21	27	18	

Ознаки втоми

Висновки щодо адекватності навантаження

Зберегти

Висновки

01-05-2024

Скарги	Допустима зміна досліджуваних показників після занять фізичним вправами при адекватному навантаженні	Аналіз даних
Задіяльність (відсутня поява скарг та погіршення стану хворого)		Норма
Частота серцевих скорочень (ЧСС)	Збільшується не більше, ніж на: АТБ у від% - ліжковий режим (на 10%), ВІ 16-18 уд./хв. - ліжковий режим (на 20%), ВІ 24 уд./хв. - вільний режим (на 30%)	Норма
Частота дихальних рухів	Збільшується не більше, ніж на 4-6 дихальних рухів (залежно від режиму): АТ ліжковий режим (на 10%), ВІ ліжковий режим (на 20%), ВІ вільний режим (на 30%)	Норма
Артеріальний тиск (АТ)	Систолічний АТ підвищується не більше, ніж: АТ ліжковий режим (на 10%), ВІ ліжковий режим (на 20%), ВІ вільний режим (на 30%) Діастолічний тиск - залишається незмінним або знижується не більше, ніж на 10 мм рт.ст	Норма
Час відновлення показників	У хворих на ліжковому, напівліжковому, вільному режимі час відновлення усіх показників - 3-5 хв	Норма
Електрокардіографічний контроль	Відсутність негативної динаміки на ЕКГ.	Норма

Частота дихання повинна змінюватися синхронно до зміни ЧСС. Почастішання дихання на один дихальний рух супроводжується збільшенням ЧСС на 3-4 удари і т. д.

Динаміка досліджуваних показників після навантаження та час їх відновлення	Адекватність навантаження	Рекомендації щодо подальшого режиму рухової активності
Усі показники змінюються в межах допустимих коливань	Навантаження адекватне	Розширення режиму рухової активності
Один із досліджуваних показників незначно відхиляється від меж допустимих	Навантаження частково неадекватне	Розширення режиму рухової активності не показано - навантаження повторити
Два/більше із досліджуваних показників відхиляється від меж допустимих	Навантаження неадекватне (свідчення неправильно підбраного фізичного навантаження)	

Рисунок 3.25 – Приклад вікна інтерфейсу щоденника пацієнта та медичного фахівця

3.5 Модуль Медичні висновки

Пацієнт на різних етапах лікувальної та реабілітаційної траєкторії взаємодіє з різними експертами та проходить лабораторне, діагностичне обстеження та тестування. Всі інтервенції, що відбулись з пацієнтом, відображаються в модулі Медичні висновки.

Приклад вікна інтерфейсу ТРП модуля Медичні висновки представлено на рисунку 3.26.

Історія реабілітаційних програм

#	Дата	Тип Цілі	Назва Цілі	Мкф	Реабілітаційна Команда	Вихідне Значення	Кінцеве Значення
1	15.04.2024 - 15.04.2024	Ціль реабілітаційної програми	b12b6 Старанність	-	-	4	-
2	03.02.2024 - 15.04.2024	Глобальна ціль	чт кіше уточнити	b117 Інтелектуальні функції	Лікар-кардіолог: Ярослав Бабич , Лікар-психолог: Марта Марцінків , Фахівець з фізичної реабілітації: Дмитро Бакуленко .	4	-
3	02.11.2023 - 29.04.2024	Ціль реабілітаційної програми	ууу	b1100 Ясність свідомості	Лікар-кардіолог: Ярослав Бабич , Лікар-психолог: Марта Марцінків .	4	2

#	Дата	Піб Виконавця	Група	Назва Тесту	Показник	Висновки	Рекомендації
1	24/03/2022	Бабич Ярослав Ігорович	Артрит	test artrit	12	good	Well 
2	23/03/2022	Бабич Ярослав Ігорович	Травма мозку	qw	1	wq	d 
3	24/03/2022	Бабич Ярослав Ігорович	Хвороба Паркінсона	gf	30	s	test 
4	13/02/2023	Бунь Ірина Степанівна	Рак	test	4	test conclusion	recommendation 

Опитувальник DASH нездатності верхніх кінцівок

#	Дата	Оцінка Нездатності Верхніх Кінцівок	Оцінка Професійні Спортсмени/музиканти	Оцінка Розділ Роботи	Спорт Або Інструмент, Що Найбільш Важливий	Діяльність	Висновки
Порожньо							

Госпітальна шкала депресії та тривоги

#	Дата	Тривога	Депресія	Тривалість Тестування	Висновки
Порожньо					

Рисунок 3.26 – Приклад вікна інтерфейсу ТРП: модуль Медичні висновки

3.6 Адміністративна підсистема

Для забезпечення координації роботи ТРП розроблено Адміністративну підсистему, яка включає модулі опису послуг, обладнання, додавання працівників з їх графіками роботи тощо.

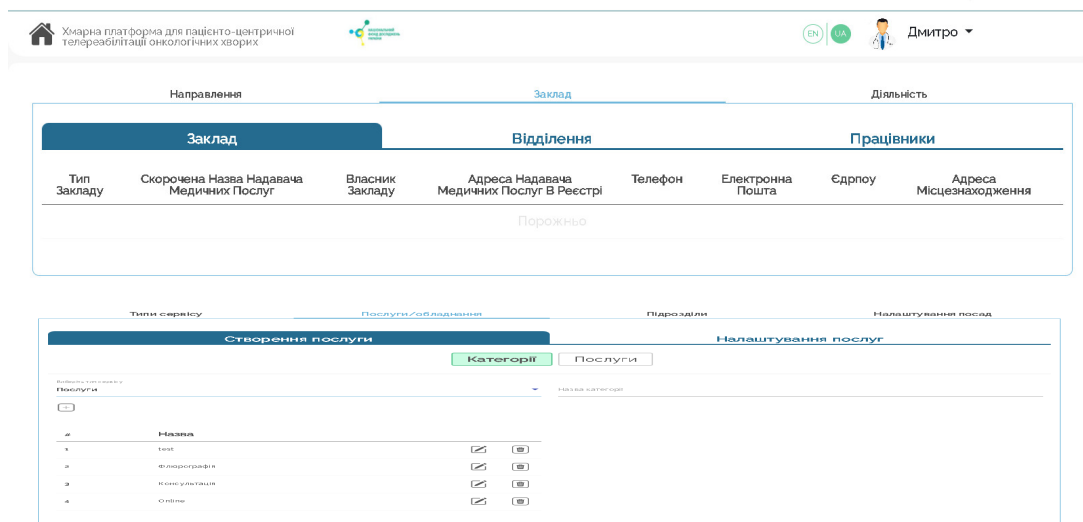


Рисунок 3.27 – Приклад вікна інтерфейсу Адміністративної підсистеми для взаємодії з ЕСОЗ та адміністрування підрозділів та послуг

Приклад вікна інтерфейсу Адміністративної підсистеми представлено на рисунку 3.27.

3.7 Теледіагностика

Теледіагностика – це метод діагностики, який використовує телекомунікаційні технології для віддаленого визначення стану пацієнта. Основна ідея полягає в тому, що за допомогою спеціальних пристроїв, сенсорів та засобів передачі даних можна отримувати і аналізувати інформацію про пацієнта, необхідну для діагностики, без прямого фізичного контакту.

В умовах війни захворювання на РМЗ створюють низку викликів у сфері надання медичної допомоги, але телереабілітація може бути корисним інструментом навіть у таких складних умовах. Ось деякі чинники застосування телереабілітації в умовах війни та у пацієнтів із захворюваннями на РМЗ в Україні: доступ до медичних фахівців, екстрений медичний огляд, теледіагностика, забезпечення медичного обладнання, зменшення ризику для медичного персоналу, підвищення доступності медичної допомоги, оптимізація ресурсів. Розглянемо детальніше переваги кожного чинника.

Доступ до медичних фахівців. У зоні конфлікту, віддалених від обласних або національних центрів населених пунктах може бути обмежений доступ до

кваліфікованих лікарів та медичного персоналу. Теледіагностика дозволяє отримувати консультації та експертні огляди віддалено, що усуває чинник відстані між медичними фахівцями та пацієнтами.

Екстрений медичний огляд. Теледіагностика допомагає швидко оцінити стан постраждалого та визначити необхідність евакуації до більш кваліфікованого медичного закладу.

Забезпечення медичного обладнання. В умовах війни медичне обладнання та інфраструктура можуть бути пошкоджені. Застосування теледіагностики дозволяє максимально використовувати наявні ресурси та обмінюватися діагностичними даними між різними медичними закладами.

Зменшення ризику для медичного персоналу. Використання теледіагностики зменшує ризик для медичного персоналу, оскільки дозволяє проводити діагностичні процедури без прямого контакту з пацієнтом, що особливо важливо у воєнних умовах.

Оптимізація ресурсів. Теледіагностика дозволяє максимально використовувати обмежені медичні ресурси, забезпечуючи доступ до діагностичних послуг для більшої кількості пацієнтів.

Підвищення доступності медичної допомоги. Теледіагностика дозволяє забезпечити доступ до медичних послуг людям у віддалених, важкодоступних районах або там, де медичні ресурси обмежені.

Передумови застосування теледіагностики для хворих на рак молочної залози можуть бути особливо важливими в контексті поширеності цього захворювання та необхідності ранньої діагностики та лікування. Ось декілька ключових аспектів:

Рання діагностика. Теледіагностика може допомогти у виявленні раку молочної залози на ранній стадії, коли лікування є найефективнішим. Зображення, отримані за допомогою різних методів теледіагностики, як-от мамографія, можуть допомогти вчасно виявити ознаки патології.

Доступ до спеціалізованої допомоги. Теледіагностика дозволяє пацієнтам з віддалених або важкодоступних регіонів отримати консультацію від спеціалістів-онкологів без необхідності долати довгі відстані.

Моніторинг та контроль. Теледіагностика може бути використана для моніторингу хворих на рак молочної залози під час лікування та реабілітації. Це дозволяє спостерігати за динамікою захворювання та вчасно виявляти будь-які ускладнення.

Збереження часу і зручність для пацієнтів. Теледіагностика зменшує необхідність постійних візитів до медичних закладів, що особливо важливо для пацієнтів з раком молочної залози, які можуть перебувати у важкому фізичному та емоційному стані.

Можливість експертної консультації. Теледіагностика дозволяє лікарям консультуватися з експертами у галузі онкології та отримувати сторонню думку щодо діагностики та лікування.

Покращення якості діагностики. Використання передових технологій у теледіагностиці дозволяє отримувати чіткі та деталізовані зображення, що полегшує точну діагностику та планування лікування.

Зменшення витрат. Впровадження теледіагностики може сприяти зменшенню витрат на медичну діагностику, оскільки не потрібно витрачати кошти на дорогу.

Можливості теледіагностики:

Віддалений моніторинг: теледіагностика дозволяє в реальному часі спостерігати за станом пацієнта, технічного обладнання або інших об'єктів з віддалених місць.

Дистанційна консультація: лікарі можуть проводити консультації з пацієнтами через відеозв'язок, аналізуючи симптоми та результати обстежень.

Моніторинг у реальному часі: за допомогою сенсорів можна відстежувати показники, як-от пульс, тиск, температура, рівень цукру в крові тощо.

3.7.1 Організація проведення теледіагностики

Організаційні перетворення в сфері охорони здоров'я потребують переосмислення багатьох постулатів, активізації резервів і, головне, – залучення найсучасніших технологій. Інформатизація та комп'ютеризація медицини передбачає корінні зміни технології роботи лікаря з пацієнтом, алгоритмів, методик збирання та обробки інформації і прийняття управлінських рішень [19, 20].

Сучасні інформаційні технології активно впроваджуються у практику охорони здоров'я, що сприяє ранньому виявленню захворювань, вчасній профілактиці та ефективному лікуванню. Це стосується найбільш поширених захворювань людства, так званих неінфекційних патологій: захворювання серцево-судинної, легеневої системи, цукровий діабет, онкологічні та інші захворювання. Частка цих патологій складає близько 68 % всіх смертей у світі [20]. Тому нині для раннього виявлення донозологічних і преморбідних станів та оцінки резервних можливостей організму особливо важливо впроваджувати сучасні технології, які допоможуть лікарю більш ефективно спланувати профілактичний, діагностичний та терапевтичний процес.

Для проведення теледіагностики передусім потрібно налагодити зв'язок між пацієнтом та медичним персоналом за допомогою телекомунікаційних технологій. Процес проведення теледіагностики передбачає такі кроки:

Підготовка пацієнта: пацієнта слід проінструктувати щодо того, як правильно розмістити обладнання для отримання максимально якісного зображення, проведення вимірювань, функціональних тестів. Наприклад, для маммографії важливо правильно розмістити груди перед камерою.

Підготовка обладнання: перед початком сеансу теледіагностики необхідно переконатися, що обладнання (камери, мікрофони, монітори тощо) працює належним чином і підключене до інтернету.

Медичні пристрої для збору даних: це може бути різноманітне медичне обладнання залежно від типу діагностики. Наприклад, вимірювач тиску, УЗД-апарати, рентгенівські машини, дерматоскопи або будь-які інші пристрої, які використовуються для проведення медичних обстежень.

З'єднання та налагодження зв'язку: медичний персонал підключається до пацієнта за допомогою відеоконференційного програмного забезпечення або спеціалізованих платформ для теледіагностики. Передача зображення та аудіо має бути налаштована на оптимальні параметри.

Інтернет-з'єднання: стабільне і швидке інтернет-з'єднання є ключовим запорукою успішної теледіагностики, забезпечуючи плавну передачу відео та даних між лікарем та пацієнтом.

Програмне забезпечення для відеозв'язку та передачі даних: для ефектвної теледіагностики необхідне спеціалізоване програмне забезпечення, яке гарантує безпечну передачу медичних даних та конфіденційність пацієнтів.

Проведення діагностики: лікар або спеціаліст проводить діагностичну процедуру, спостерігаючи отримані зображення або дані, які передаються від пацієнта. Це може включати огляд рентгенівських знімків, мамографії, ультразвукових зображень тощо.

Консультація та обговорення результатів: після завершення діагностичної процедури лікар робить висновки і консультує пацієнта, надає рекомендації щодо подальшого лікування чи діагностичних заходів.

Документування результатів: отримані результати та висновки лікаря можуть бути документовані для подальшого аналізу та збереження в медичній документації пацієнта.

Система зберігання даних: після завершення сесії теледіагностики важливо забезпечити зберігання отриманих даних в безпечному та конфіденційному середовищі.

Захворювання на рак можуть спричиняти системні зміни у різних органах і системах організму. Максимально повна оцінка стану організму, органів і систем можуть забезпечити більш якісну діагностичну, терапевтичну та реабілітаційну траєкторію пацієнта.

Важливим завданням для розширення діагностичних можливостей ТРП є здатність взаємодіяти з різними теледіагностичними платформами.

3.7.2 Реєстрація артеріальної осцилограми вимірювачем АТ

Процедура вимірювання тиску давно увійшла в повсякденне життя медичних працівників, фахівців фітнес-галузі, спорту, пересічних користувачів. Саме ця процедура дає можливість визначити рівень артеріального тиску та частоти серцевих скорочень для раннього виявлення і контролю артеріальної гіпертензії. Електронні вимірювачі артеріального тиску прийшли на зміну манометричним або ртутним вимірювачами тиску. За прогнозами, обсяг світового ринку електронних вимірювачів тиску з 2020 по 2025 роки подвоїться і досягне 1440,3 млн доларів у 2025 році [19, 20]. Склалася традиція піддавати аналізу зареєстровані артеріальні пульсації унаслідок перетискання манжетою плеча (кінцівки) тільки для визначення артеріального тиску та частоти серцевих скорочень. Хоча в інших дотичних галузях, як-от реографія, електрокардіографія, енцефалографія, спірографія тощо, накопичено великий досвід аналізу біосигналів із значним спектром методів. До прикладу, в електрокардіографії на основі аналізу інтервалограм значного поширення в світі набула варіабельність серцевого ритму (ВСР). Аналіз ВСР свідчить про діяльність серця, рівні регуляції діяльності ССС, стан автономної та центральної нервової систем, їх адапційну здатність. Аналіз реографічної кривої дає можливість діагностувати стан кровотоку та судин. На рисунку 3.28 представлено компоненти теледіагностичного комплексу.

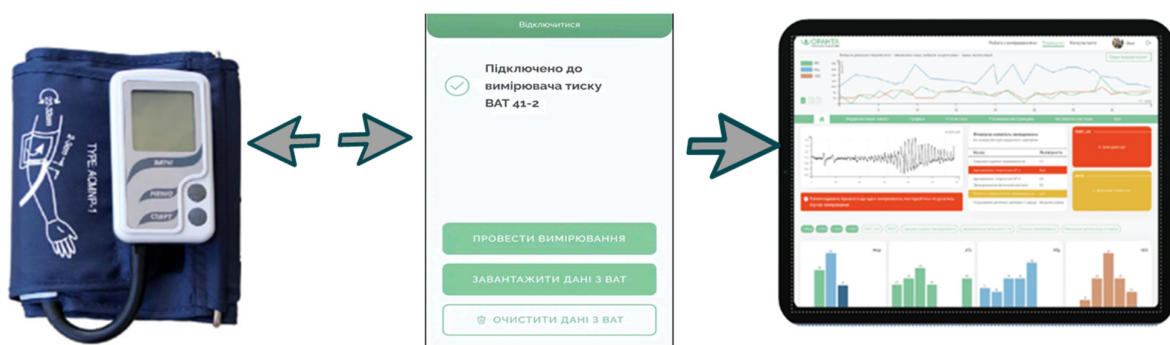


Рисунок 3.28 — Компоненти теледіагностичного комплексу
(вимірювач артеріального тиску, мобільний додаток,
вигляд персонального кабінету користувача)

Застосування програмних комплексів, що включають вебсередовище, мобільний додаток та хмарне розрахункове ядро для забезпечення інформаційної технології «Артеріальна осцилографія» (Вакуленко Д. В., Вакуленко Л. О.), розробленої за унікальною технологією, забезпечує можливість:

- провести комплексну оцінку функціонального стану серцево-судинної системи, її резервних можливостей;
- визначити функціональний стан автономної нервової системи та її адаптаційну здатність;
- вивчити стан судин: тонус, еластичність, якість адаптації до різних рівнів компресії при вимірюванні артеріального тиску, що характеризують локальну (в місці вимірювання) та центральну гемодинаміку;
- оцінити рівень здоров'я, адаптаційні можливості організму, преморбідні стани, ефективність терапевтичних, профілактичних та реабілітаційних заходів.

За допомогою Експертної системи можлива диференціальна діагностика ризиків серцевих, легеневих, психічних захворювань та прогнозування показників крові, центральної гемодинаміки, функції серця.

На головній сторінці особистого кабінету вебпорталу графічно та чисельно відображаються значення останніх або попередніх вимірювань (за вибором користувача) АТс, АТд, ЧСС, комплексних показників ПАРС, ІФСР, судин, прогнозованих ризиків захворювань та деяких показників крові, центральної гемодинаміки та психічних станів. На наступних графіках – рівень здоров'я, ризики захворювань ССС, легеневі та психічні захворювання та деякі прогнозовані показники крові, центральна гемодинаміка та психічні стани.

Робота з особистим кабінетом вебпорталу

Для використання ресурсу порталу необхідно зареєструватись (безкоштовно) для створення особистого кабінету і відображення результатів проведених вимірювань. Наступним кроком є встановлення мобільного додатку. Після входу в профіль користувача є можливість обрати вимірювач тиску, провести

вимірювання і переглянути отримані результати в історії вимірювань та у веб-профілі. Додатково є можливість надіслати звіт лікарю. Вигляд вікон інтерфейсу мобільного додатку, призначеного для отримання та надсилання сигналів та значень артеріального тиску, представлено на рисунку 3.29.

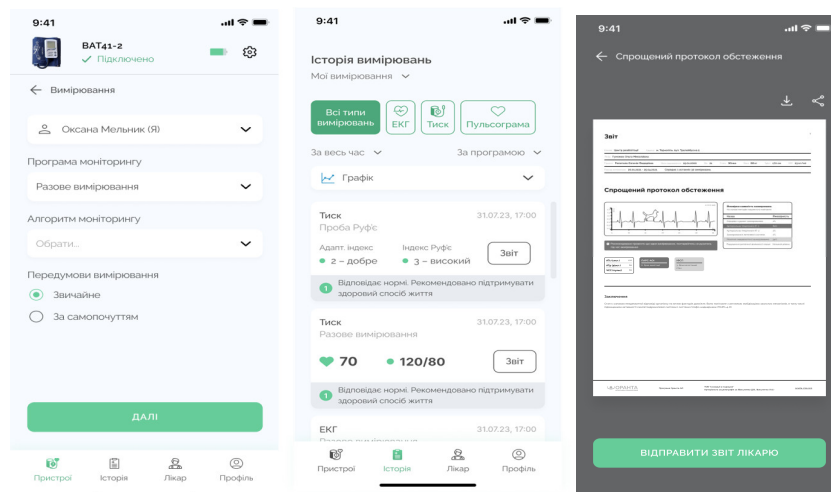


Рисунок 3.29 – Вигляд вікон інтерфейсу мобільного додатку, призначеного для отримання та надсилання сигналів та значень артеріального тиску

У вікні особистого кабінету головної сторінки Результати відображаються основні результати останніх вимірювань. За потреби можна обрати необхідне вимірювання (правою кнопкою миші, або подвійним натисканням лівою кнопкою миші, або пальцем) чи діапазон вимірювань (обравши інтервал лівою кнопкою миші). Додатково передбачена можливість для вибору необхідних вимірювань, перегляду усереднених значень в лівому нижньому вікні інтерфейсу Розрахунки (див. рисунок 3.30).

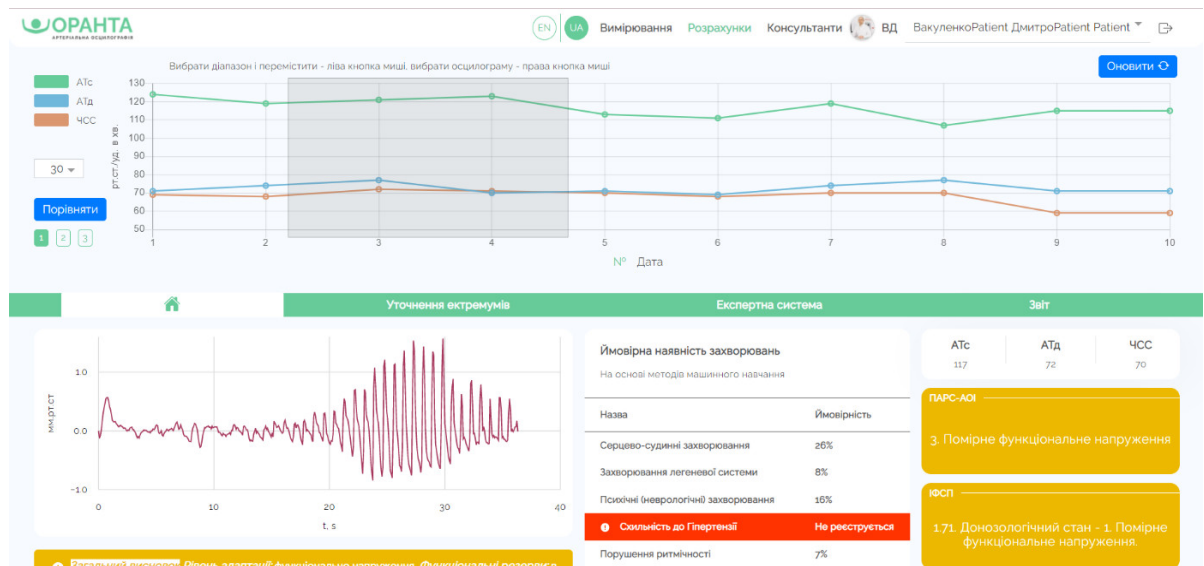


Рисунок 3.30 – Вікно інтерфейсу головної сторінки Результати.

В закладці Звіт передбачена можливість отримання звітів у скороченому або розширеному форматі. У полі Висновки передбачено можливість внести необхідну інформацію. При виборі піктограми з принтером відбудеться передавання звіту на друк (у відтинках сірого – для чорно-білого друку) (див. рисунок 3.31).



Рисунок 3.31 – Вікно інтерфейсу Звіт теледіагностичного сервісу

Таким чином, лікар (чи пацієнт) зразу після вимірювання артеріального тиску зможе в офлайн чи онлайн режимі отримати (окрім показників артеріального тиску) інформацію щодо рівня здоров'я, резервних можливостей організму, стану серцево-судинної, автономної нервової системи, рівнів регуляції їх діяльності. Це дасть можливість лікарю завчасно діагностувати преморбідні

стани, відповідно до отриманих результатів розробити програму профілактики, корекції стану пацієнта; оцінювати динаміку в процесі лікування та реабілітації.

3.7.3 Реєстрація електрокардіограми

Реєстрація електрокардіограми – це поширений діагностичний метод роботи серця. Переважно реєстрація ЕКГ виконується в приміщенні ЗОЗ, але стрімкий розвиток ІТ дає можливість проводити реєстрацію ЕКГ медичним працівникам та пацієнтам. Можливість завантаження зареєстрованих біосигналів в хмарні розрахункові сервіси забезпечує високу якість розрахованих показників. Підтримка Експертної системи з алгоритмами ШІ підвищує якість діагностичної інтерпретації результатів. Для цього можуть використовуватись носимі реєстратори, смарт-годинники з функцією ЕКГ (1, 6, 12 відведень), пульсограми тощо. Вигляд вікна інтерфейсу компонентів проведення реєстрації ЕКГ та відображення результатів у мобільному додатку зображено на рисунку 3.32.

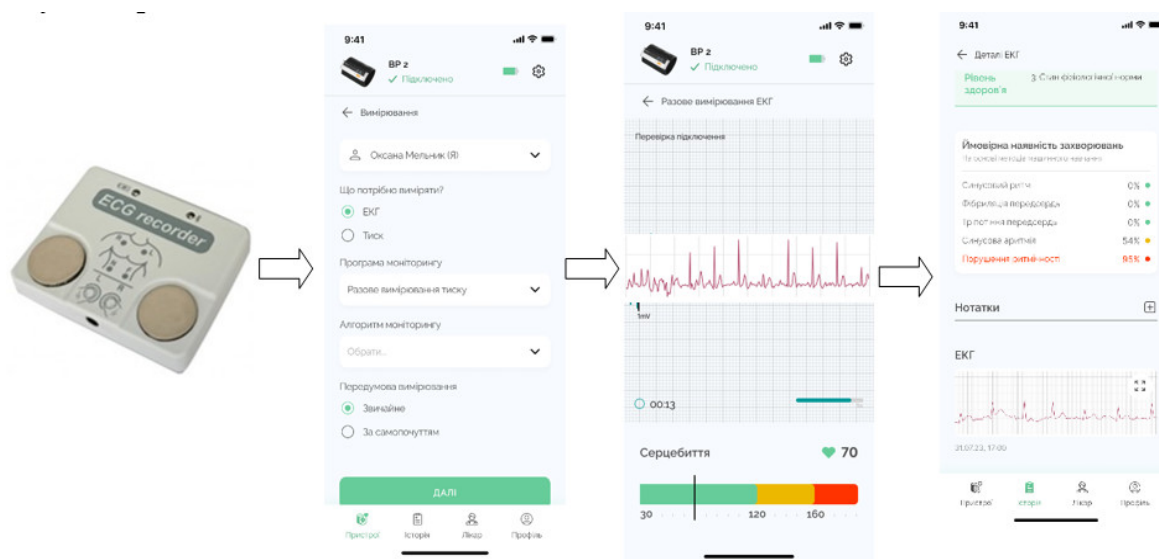


Рисунок 3.32 – Вигляд вікна інтерфейсу компонентів проведення реєстрації ЕКГ та відображення результатів у мобільному додатку

У персональному вебкабінеті користувача протягом хвилини будуть доступні розраховані показники за результатами реєстрації ЕКГ (див. рисунок 3.33).

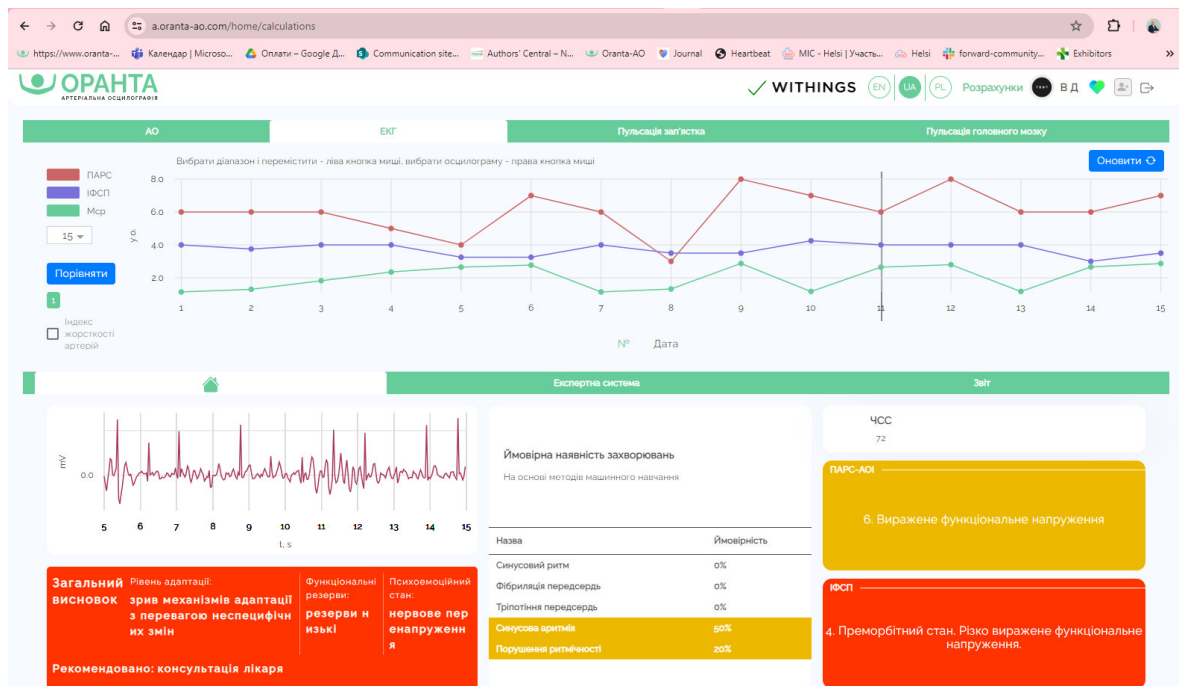


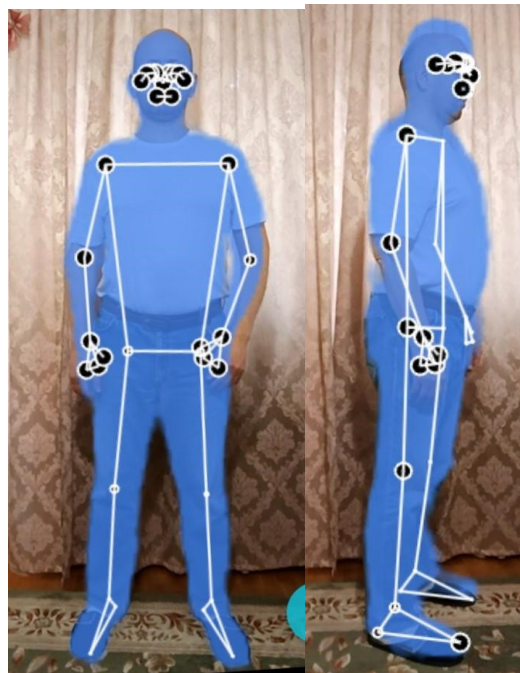
Рисунок 3.33 — Вікно інтерфейсу персонального вебкабінету користувача за результатами реєстрації ЕКГ

Експертна система додатково розрахує вірогідність наявності фібриляції передсердь та надасть загальну та детальну оцінку діяльності серця, автономної і центральної нервової системи з можливістю надіслати звіт з мобільного та вебдодатку лікарю.

Розраховане сумарне значення за результатами вимірювання артеріальної осцилограми (артеріального тиску), ЕКГ з оцінками (відмінно, добре, задовільно, незадовільно, вкрай незадовільно) відповідає значенням відповідно від 0 до 4, які використовуються в МКФ.

3.7.4 Оцінки стану постави та рухомості суглобів

Перебіг захворювання на РМЗ та лікування може спричинити порушення постави та рухомості кінцівок. Для забезпечення кількісної оцінки ступеня порушення та результатів реабілітації можна використовувати спеціальні програмні сервіси, інтегровані у веб та мобільний додаток. Вигляд визначених положень суглобів: а) спереду та б) збоку наведено на рисунку 3.34.



а)

б)

Рисунок 3.34 — Алгоритм з визначення положення суглобів для діагностики постави та рухомості суглобів: а) спереду та б) збоку

За результатами розрахунку відхилень від вертикального та горизонтального положень суглобів відбувається розрахунок ступеня відхилень. Приклад розрахованих значень та висновку представлено в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Приклад розрахованих значень та висновку відхилень від вертикального та горизонтального положень суглобів

	Голова	Плечі	Поперек	П'яти	Шия	Тулуб	Значення
Розраховане значення	0,95	0,7	0,2	0,4	0,65	0,9	3,8
відмінно	1	1	1,05	1	1	1	6,05
добре	4	6	5,6	5	6	6	32,6
задовільно	7	11	10,5	9	11	11	59,5
незадовільно	10	16	16,1	13	16	16	87,1
вкрай незадовільно	14	21	21	17	21	21	115
Висновок	Сумарне розрахункова оцінка значення Постави - 3,8 - Відмінно						

За таким самим принципом відбувається розрахунок рухомості суглобів. Для оцінки рухомості суглобів враховується симетричність руху, амплітуда, максимальне та мінімальне прискорення руху кінцівок.

Розраховане сумарне значення постави або рухомості суглобів з наведеними оцінками (відмінно, добре, задовільно, незадовільно, вкрай незадовільно) відповідає значенням відповідно від 0 до 4, які використовуються в МКФ.

3.7.5 Проведення функціональних проб

Додатково до вищенаведених оцінок у ТРП розроблено сервіси для проведення різноманітних функціональних проб: проба Руф'є, Проба Мартіне-Кушелевського, ортостатична проба та інші. Загалом це понад 15 проб, для яких розроблено форми для внесення отриманих показників та розрахункові сервіси для розрахунку показників і відображення висновку.

Експертна система супроводу пацієнта до реабілітаційного етапу, під час та після реабілітаційного етапу – це інноваційний та комплексний інструмент, призначений для надання оптимальної підтримки та допомоги пацієнтам під час процесу відновлення після травм, операцій або хвороб. Ця система поєднує передові технології штучного інтелекту, медичних знань та індивідуального підходу до кожного пацієнта [16-20].

На етапі до реабілітації експертна система здійснює аналіз медичних даних пацієнта, враховуючи його історію хвороби, фізичний стан, лікарські призначення та інші фактори. За допомогою алгоритмів машинного навчання вона здатна прогнозувати можливі труднощі під час реабілітації та розробляти індивідуальний план відновлення, що максимально враховує потреби та можливості кожного пацієнта.

Під час реабілітаційного етапу експертна система взаємодіє з пацієнтом, надаючи йому рекомендації, нагадування та пояснення стосовно необхідних медичних процедур, фізичних вправ та інших аспектів відновлення здоров'я. Завдяки інтеграції з мобільними додатками та пристроями збору даних, система може відстежувати прогрес реабілітації пацієнта, оцінювати ефективність реабілітаційних заходів та вчасно реагувати на можливі ускладнення.

На етапі після реабілітації експертна система продовжує бути вірним помічником пацієнта. Вона здатна надавати рекомендації щодо збереження досягнутого рівня фізичної та психологічної форми, а також запобігати можливому

виникненню рецидивів або нових проблем зі здоров'ям. Дані про пацієнта зберігаються в захищеній електронній системі, що забезпечує конфіденційність та безпеку лікарських даних.

Експертна система супроводу пацієнта на шляху реабілітації допомагає забезпечити більш якісну та індивідуалізовану медичну підтримку, покращує результати відновлення та сприяє більш швидкому поверненню до активного та здорового способу життя. Вона стає невід'ємною частиною сучасної медицини, допомагаючи пацієнтам зберегти і покращити здоров'я та добробут.

В Експертній системі реабілітації передбачено можливість проведення таких взаємодій:

Моніторинг стану пацієнта (деякі елементи представлені в розділі 3.7. Теледіагностика): система забезпечує збір і аналіз даних про пацієнта з використанням різних джерел, як-от прилади для вимірювання показників здоров'я (вимірювач артеріального тиску, ЕКГ), лабораторні методи, аналіз мультимедійного контенту (оцінка постави, рухомості суглобів), психологічне тестування, функціональні проби тощо. Це допомагає визначити поточний стан пацієнта і зрозуміти, які аспекти його здоров'я потребують особливої уваги.

Супровід пацієнта: система допомагає пацієнту сформулювати проблему і надає лінгвістичну підтримку, що допомагає пацієнту краще розуміти свої проблеми і сприяє більш ефективному спілкуванню з експертами.

Виявлення проблеми: система допомагає виявляти проблеми, пов'язані зі здоров'ям пацієнта, на основі зібраних даних. Це може включати розпізнавання аномалій, порівняння з нормальними значеннями, а також врахування інших чинників, що впливають на здоров'я.

Оцінка важливості та пріоритетності: після виявлення проблем система допомагає пацієнту оцінити їх важливість та визначити пріоритетність їхнього розв'язання. Це допоможе пацієнту зосередитись на найважливіших аспектах свого стану і планувати ефективні кроки для поліпшення здоров'я.

Підбір оптимальної реабілітаційної траєкторії з урахуванням вихідного стану пацієнта, цілей його реабілітації, очікуваних результатів реабілітаційної

програми, її тривалості, бюджету (пацієнта та ЗОЗ), доступного часу, онлайн чи офлайн (стаціонар, амбулаторія), наявного обладнання та доступності фахівців.

Складність: система враховує рівень складності виявлених проблем і пропонує адекватний підхід до реабілітації. Залежно від складності проблем, можуть знадобитися різні методи лікування та реабілітації, і система допомагає зробити відповідний вибір.

Таким чином підсистема реабілітації надає підтримку пацієнту і допомагає ефективно виявляти, оцінювати та реагувати на проблеми здоров'я, що забезпечить ефективний процес реабілітації і якість життя пацієнта.

3.8 Експертна система

3.8.1 Експертна система лікаря ФРМ

В Експертній системі лікаря ФРМ передбачені сервіси підтримки класифікації медичних клінічних випадків (МКФ) на основі інформації про проблеми, з якими звертається пацієнт. Головною метою системи є формування набору кодів МКФ, які можуть допомогти лікарям точно ідентифікувати патології та призначати відповідне лікування [3, 7, 9, 10, 15].

Підбір засобів додаткової діагностики: система має аналізувати дані про пацієнта та його стан, щоб дати рекомендації щодо додаткових діагностичних методів, які допоможуть точніше встановити діагноз та спланувати ефективне лікування.

Врахування джерел інформації: система базується на достовірних джерелах інформації, як от загальноприйняті функціональні тести та проби, sralab.org та інші лабораторні методи, щоб забезпечити точність та надійність рекомендацій.

Експертна система лікаря ФРМ є потужним інструментом для удосконалення медичної практики та *прийняття обґрунтованих рішень*. Вона допомагає медичним фахівцям приймати обґрунтовані та збалансовані рішення щодо під-

бору додаткової діагностики, моніторингу та реабілітації, що сприяє покращенню якості надання медичних послуг та допомагає пацієнтам швидко та успішно одужати.

Моніторинг і звітність: система веде детальний облік прогресу кожного пацієнта та надає звіти для самостійного контролю.

Реалізовані компоненти експертної системи для лікаря ФРМ:

- зручний доступ до медичної інформації: Лікар має можливість швидко знаходити необхідну інформацію про своїх пацієнтів та їх реабілітаційні програми;
- моніторинг прогресу: реалізований ефективний моніторинг стану пацієнтів і прогресу їх реабілітації допоможе лікареві адекватно реагувати на зміни і вносити корективи у терапевтичний план.

3.8.2 Експертна система пацієнта

Оцінка ефективності впливу реабілітаційної інтервенції [10, 20].

Заповнені реабілітаційні журнали містять детальні записи про прогрес пацієнта під час проходження реабілітаційної програми. Вони включають інформацію про проведені процедури, вправи, лікування та інші аспекти реабілітації, яка допомагає зрозуміти, які зміни відбуваються з пацієнтом в процесі реабілітації.

Динаміка зміни ознак за МКФ використовується для об'єктивної оцінки функціонального стану пацієнта. Ця класифікація дозволяє виміряти і зіставити зміни в показниках пацієнта до, під час і після реабілітаційної інтервенції, що надає можливість об'єктивно оцінити результати реабілітації.

Ці компоненти у комплексі утворюють експертну систему, яка допомагає оцінити ефективність реабілітаційної інтервенції на різних рівнях: пацієнта, фахівця та реабілітаційного центру. Вона надає об'єктивну інформацію, що може бути використана для вдосконалення програм та методів реабілітації з метою покращення результатів усіх учасників процесу.

Розроблений сервіс оптимізації реабілітаційної траєкторії пацієнта на РМЗ передбачає такі можливості:

- оцінка ефективності впливу реабілітаційної інтервенції попередньої програми;
- наявні засоби, фахівці для продовження програми;
- моделі (матриці) стану пацієнта до, під час та після реабілітаційної програми;
- заповнення реабілітаційних журналів;
- підбір реабілітаційної траєкторії пацієнта (співвідношення офлайн та онлайн участі).

Індивідуалізоване формування учасників мультидисциплінарної команди на основі:

- спеціалізації медичного фахівця;
- виконаних завдань попередніми мультидисциплінарними командами;
- наявності обладнання, приміщень;
- доступності фахівців;
- побажань пацієнта та інших учасників реабілітаційного процесу;
- запитів пацієнта, опитувальників;
- відвіданих фахівців;
- діагностичних та попередніх інтервенцій;
- результатів моніторингу;
- навчальних (текстових та відео) матеріалів.

Підбір засобів додаткової діагностики, моніторингу, реабілітації (реабілітаційних засобів, обладнання, sralab.org, лабораторних методів; ціна, доступність) на основі:

- запитів пацієнта на цілі реабілітаційної програми;
- анамнезу пацієнта;
- встановлених кодів МКХ та ICP2;
- видів обстежень та їх висновків;
- доступного обладнання та фахівців.

3.9 Висновки до розділу

Представлено компоненти розробленої телереабілітаційної платформи хворих на РМЗ. Запропоновано інформаційно-технологічні алгоритми програми телереабілітації. Представлено опис розробленого робочого кабінету лікаря ФРМ із можливістю вибору пацієнта, формування цілей реабілітації, проведення додаткових консультацій і обстежень, формування реабілітаційної програми з урахуванням рекомендацій задачі оптимізації щодо тривалості, фахівців мультидисциплінарної команди, фазових обмежень часу, фінансів тощо. Інформаційно-аналітичний сервіс забезпечує лікаря ФРМ та фахівців реабілітаційної програми інформаційним супроводом на різних етапах реабілітаційної програми. В особистому кабінеті пацієнтки є можливість перегляду особистих даних, підтримки інформаційно-аналітичного модуля, календаря, заповнення щоденника за результатами проходження інтервенцій. Модуль медичних висновків включає інформацію про проведені реабілітаційні програми, консультації, теледіагностичні обстеження, тестування.

В модулі Адміністративна підсистема зібрано необхідні засоби для зазначення місць надання послуг, посад, послуг і їх налаштування тощо.

Надано опис організації проведення теледіагностики. Представлено інтегровані модулі для проведення теледіагностики пацієнтів за допомогою ЕКГ, вимірювача тиску, оцінки постави та рухомості суглобів. Важливою складовою всього реабілітаційного процесу є проведення функціональних проб. В модулі Експертна система для лікаря ФРМ та пацієнта представлено розроблені математичні та лінгвістичні моделі для оптимізації різних етапів реабілітації.

Список використаної літератури розділу 3

1. 'А. с. № 59105 Україна. Комп'ютерна програма «Інформаційна система медичної (фізичної) реабілітації» / Д. В. Вакуленко, В. П. Марценюк ; Державний вищий навчальний заклад «Тернопільський державний медичний університет імені І. Я. Горбачевського» МОЗ України. Заявл. 01.04.15; опубл. 30.07.15, Бюл. № 37.
2. Палагін О. В., Величко В. Ю., Петренко М. Г., Семикопна Т. В., Стрижак О. Є., Будник М. М., Владимиров О. А., Горборуков В. В., Каверинський В. В., Голик В. А., Приходнюк В. В., Чайковський І. А., Малахов К. С., Сивак О. В., Кургаєв О. П., Надутенко М. В., Щуров О. С., Нікітюк Д. В. Трансдисциплінарна інтелектуальна інформаційно-аналітична система супроводження процесів реабілітації при пандемії TISP : колективна монографія / за ред. О. В. Палагіна. Ін-т кібернетики ім. В. М. Глушкова НАН України, НАН України, Нац. фонд дослідж. України. Київ : Просвіта, 2021. 348 с. DOI: 10.54521/ibs34.
3. Стецюк П. І., Вакуленко Д. В., Ляшко В. І. Оптимізаційні задачі для оцінок відносної важливості елементів в методі аналізу ієрархій. *Наукові записки НаУКМА. Комп'ютерні науки*. 2023. 6.
4. Вакуленко Д. В. Застосування алгоритмів Штучного інтелекту в реабілітації *Перспективи розвитку медичної та фізичної реабілітації на різних рівнях надання медичної допомоги* : матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції з міжнародною участю, 28-29 вересня 2023 року. URL: <https://youtu.be/6KsiF-AmzOM?t=12353>.
5. Malakhov K., Vakulenko D., Kaverinsky V. *EBSCO articles dataset (domain knowledge: Rehabilitation medicine) + JSON of every article*. (1.1.0). Zenodo. 2023. DOI: <https://doi.org/10.5281/ZENODO.8308214>
6. Romaniv S. V., Palaniza Yu. B., Vakulenko D. V., Galaychuk I. Y. The Method of Using Fractal Analysis for Metastatic Nodules Diagnostics on Computer Tomographic Images of Lungs. *Horizons in Cancer Research*. March 30, 2023. 85. Nova Science Publishers, Inc. New York, USA. P. 231-247. URL:

7. Стецюк П. І., Вакуленко Д. В., Ляшко В. І. Оптимізаційні задачі для оцінок відносної важливості елементів в методі аналізу ієрархій. *Наукові записки НаУКМА. Комп'ютерні науки*. 2023. 6.
8. Стецюк П. І., Вакуленко Д. В., Стецюк М. Г. r-Алгоритм для навчання моделей лінійної регресії. *Математичне та програмне забезпечення інтелектуальних систем (MPZIS-2023)* : тези доповідей XXI міжнародної науково-практичної конференції. Дніпро, 22-24 листопада 2023 р. Дніпро : ДНУ, 2023. 14 с.
9. Vakulenko D., Vakulenko L., Zaspas H., Stetsiuk P., Budnyk M. Chapter 40. New application of arterial pulsations registered during blood pressure measurement with the Oranta-AO information system / In: D. V. Vakulenko, L. O. Vakulenko (eds.) *Arterial oscillography: New capabilities of the blood pressure monitor with the Oranta-AO information system*, Nova Science Publishers, Inc. USA. 2023. P. 947-980.
10. Vakulenko D., Vakulenko L. Chapter 42. Information System Telerehabilitation: Needs, Tasks and Way Optimization with AI / In: D. V. Vakulenko, L. O. Vakulenko (eds.) *Arterial oscillography: New capabilities of the blood pressure monitor with the Oranta-AO information system*, Nova Science Publishers, Inc. USA. 2023. P. 947-980.
11. Вакуленко Д. В., Вакуленко Л. О. Сучасний погляд на телереабілітаційну екосистему в Україні: перспективи та виклики. *Організаційні та клінічні аспекти пацієнт-орієнтованого підходу до лікування та реабілітації в сучасних умовах* : доповідь на Науково-практичній конференції з міжнародною участю. Онлайн конференція ДНУ «НПЦ ПКМ» ДУС 29-30 травня 2024 року, Київ. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=Ce3yeaYWcwM> (19-та хвилина).
12. Вакуленко Л. О., Прилуцька Г. В., Вакуленко Д. В. Атлас масажиста. Тернопіль : Укрмедкнига, 2005. 306 с.
13. Про реабілітацію у сфері охорони здоров'я : Закон України від 3.12.2020 р. № 1053-IX. *Відомості Верховної Ради (ВВР)*. 2021. 8. С. 59. URL:

<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1053-20#Text>.

14. Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо функціонування телемедицини : Закон України від 09.08.2023р. № 3301-IX.

15. Vakulenko D., Vakulenko L., Zaspа H. et. al. Components of Oranta-AO software expert system for innovative application of blood pressure monitors. *J Reliable Intell Environ*. 2022. 9. P. 41-56. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40860-022-00191-4>.

16. Медична та соціальна реабілітація : навч. посіб. / за заг. ред. І. Р. Мисули, Л. О. Вакуленко. Тернопіль : ТДМУ, 2005. 402 с.

17. Основи масажу : навч. посіб. : [пробне видання] / Л. О. Вакуленко, З. П. Прилуцький, Д. В. Вакуленко та ін. Тернопіль : ТНПУ, 2013. 132 с.

18. Основи медичної та соціальної реабілітації в медсестринстві : навч. посіб. / за заг. ред. Л. О. Вакуленко. Тернопіль : ТДМУ, 2015. 444 с.

19. Основи реабілітації, фізичної терапії, ерготерапії : підручник / за ред. Л. О. Вакуленко, В. В. Клапчука. Тернопіль : ТДМУ, 2018. 372 с.

20. Основи фізичної реабілітації : навч. посіб. : [пробне видання] / Л. О. Вакуленко, В. В. Клапчук, Д. В. Вакуленко та ін. Тернопіль : ТНПУ, 2013. 234 с

4 РОЗРОБЛЕННЯ ІНТЕРФЕЙСНОЇ ТА МЕРЕЖЕВОЇ СКЛАДОВИХ ДЛЯ ІНФОРМАЦІЙНО-АНАЛІТИЧНОЇ ПІДСИСТЕМИ

Великі обсяги інформації традиційно представляються у текстовому вигляді. У сучасному світі це здебільшого електронні текстові документи, або інші файли, що містять також і текстові дані. Це можуть бути наукові статті, книги, інструкції, технічна документація, медичні протоколи лікування, тощо. Проте пошук необхідної інформації у таких документах «в ручному режимі» може ставати кропітким і довгим процесом. Особливо, така проблема стає, коли об'єм документів стає великим, а необхідна інформація розкидана по цілому ряду файлів і різних їх розділах. Традиційні методи створення розділів змісту, в тому числі активних – із автоматичним посиланням на певні ділянки тексту у документах – частково вирішує цю проблему. Але великий об'єм інформації призводить до розростання навіть таких змістів, що ускладнює роботу з ними. Більш того, дані, що потрібно відшукати можуть напяму не значитися у заголовках розділів і, як вже вказувалося, можуть бути розкиданими у різних частинах багатьох документів. Частково таку проблему вирішує створення систем пошуку, що активно використовується. Проте, автоматизований контекстний пошук безпосередньо у великому наборі документів може бути не дуже зручним у програмній реалізації і бути довгим. Програмним системам набагато легше працювати зі структурованими базами даних і базами знань. Такі бази, як і індексовані контексти, можна створювати вручну. Але то є довга і кропітка робота, особливо коли мова йде про великі набори даних. Тому постає задача автоматизованого створення баз даних і баз знань на основі наборів текстових файлів, в тому числі представлених у форматі PDF, що є поширеним для зберігання технічної літератури.

У сучасному цифровому світі, де обсяги інформації зростають експоненційно, автоматизовані системи пошуку, бази даних та бази знань стали незамінними інструментами. Але ще важливіше забезпечити користувачам інтуїтивний спосіб доступу до цієї інформації. Природномовні інтерфейси відкривають нові

горизонти взаємодії користувача з технічними системами. Замість складних запитів та команд, користувач може просто поставити питання або висловити свої думки природною мовою, очікуючи швидкої та зрозумілої відповіді. Це особливо актуально для людей, які не мають технічної підготовки. Чат-боти, обладнані природно-мовними алгоритмами обробки, можуть стати воротами до величезних наборів даних, роблячи інформаційний пошук простим та ефективним. Вони можуть аналізувати запити користувача, визначати контекст, знаходити оптимальні відповіді та адаптувати свої відповіді залежно від потреб користувача, роблячи взаємодію максимально природньою та корисною.

Подібні системи з природномовним інтерфейсом зараз активно розробляються і вдосконалюються. Яскравим прикладом такої роботи є створення таких систем, як-от ChatGPT та інших з використанням великих мовних моделей (ВММ). Зараз вони все більш входять до практичного вжитку користувачів з різних галузей і набувають популярності через їх беззаперечну високу ефективність. Попри це, слід зазначити, що навіть такі передові системи на основі ВММ не позбавлені певного ряду недоліків, обумовлених різними причинами. Так, хоча їх бази знань є надвеликими, вони все ж обмежені і можуть не містити необхідну інформацію у прийнятному об'ємі. Окрім того, інформаційна забезпеченість таких систем неоднорідна з огляду на різні природні мови. Більша частина інформації зазвичай представлена в них англійською мовою. Результати роботи з іншими природними мовами, а тим більш з рідкісними і непопулярними, можуть виявлятися значно скромнішими. Зазначимо, що існують стандартні механізми налаштування таких систем для збагачення їх певною необхідною інформацією із заданої галузі. То є так зване «довчання» або «fine tuning» ВММ. Такий механізм запроваджено у OpenAI Platform та інших подібних сервісах з використання ВММ. Але цей підхід також має свої не завжди прийнятні особливості, а саме: для нього необхідне створення розміченого дата сету, створення якого є довгою і важкою роботою; процес навчання є вибагливим до обчислювальних ресурсів і довгим; використання таких можливостей у

розгорнутих реалізаціях є зазвичай платними. Більш того, використовуючи існуючу розгорнуту реалізацію такої моделі, ми прив'язуємося до певної компанії – вендора і зовнішнього ресурсу, що їй належить. Автономне розгортання подібних ВММ можливе, але воно потребує значних обчислювальних потужностей або буде працювати доволі повільно (великий час генерування відповіді), що не завжди зручно і прийнятно.

Таким чином, не дивлячись на суттєвий прорив у діалогових системах, пов'язаний зі створенням ВММ, традиційні підходи, що засновані на наборі правил і шаблонів, не втрачають своєї актуальності. Такі реалізації можуть працювати швидко і не потребують надвеликих обчислювальних потужностей. Тобто таку діалогову систему можна з легкістю розгорнути на звичайному персональному комп'ютері або на сервері без спеціалізованих графічних прискорювачів чи інтегральних схем специфічного застосування (призначені для прискорення розрахунків задач штучного інтелекту). Більш того, при досконалому створенні і налаштуванні, така система може цілком задовольняти потреби користувача у певній предметній галузі.

Представлена у поточному розділі робота присвячена створенню природномовної інтерактивної інформаційно-довідкової системи (та платформи з API) MedRehabBot [1-4], що входить до інформаційно-аналітичної складової *Хмарної платформи пацієнт-центричної телереабілітації онкологічних хворих* [5-7] (ХП). Система MedRehabBot побудована навколо створеного спеціалізованого набору документів – датасету, який являє собою статті з тематики ФРМ – EBSCO articles dataset (domain knowledge: rehabilitation medicine) + JSON [8].

У якості допоміжних компонентів для системи MedRehabBot були також розроблені та удосконалені:

- програмна утиліта для перетворення зазначеного набору файлів на графову базу знань онтологічного типу, з якою працює діалогова система;
- вебсервіс KEn [9]. Мережевий інструментарій (та платформа з API) для контекстного та семантичного аналізу з функцією побудови таксономії документів;

- вебсервіс UkrVectōrēs [10]. Інструмент (та платформа з API) для пошуку, класифікації і прогнозування знань на основі технологій розуміння природної мови, дистрибутивного та семантичного аналізу природномовних текстів;
- набір десктопних сервісів, який дозволяє в напіваавтоматичну та повністю автоматичну режимі генерацію OWL онтології (входить до репозиторію [2]) з природномовного тексту;
- мережевий сервіс аналізу природномовних фраз [3, 11] – спеціалізований вебсервіс, що дозволяє будувати семантичні дерева для фраз.

4.1 Розроблення інтерактивної діалогової інформаційно-довідкової системи з тематики фізичної і реабілітаційної медицини (ФРМ) MedRehabBot

4.1.1 Технічні вимоги до системи MedRehabBot

Таблиця 4.1 – Специфікація функціональних вимог

RQ код	RQ опис
F1	Архітектура системи
F1.1	Система повинна бути гнучкою, адаптованою до швидко змінюваних умов і вимог користувача. Тому її ядро або основна частина мають бути розроблені на основі модульної архітектури. Це означає, що кожна окрема компонента системи або модуль мають відповідати за конкретний аспект її функціональності. Основні функції: – обробка і аналіз текстових повідомлень; – формування запитів до бази даних/знань; – взаємодія з базою даних/знань; – формування структури даних для відповіді; – взаємодія і координація роботи наявних модулів.

F1.2	Можливість інтеграції системи з іншими системами і сервісами. Взаємодія із зовнішнім графічним інтерфейсом користувача та забезпечення інтерфейсу прикладного програмування (API) мають здійснюватися окремими модулями.
F1.3	Обмін даними між різними компонентами системи має відбуватися за допомогою формату JSON, який є стандартним форматом для передачі структурованих даних через мережу. Використання JSON як єдиного формату забезпечує консистентність у взаємодії компонентів системи, що спрощує процес розробки та інтеграції.
F1.4	Графічний інтерфейс користувача представлений у вигляді Телеграм-боту. Має бути забезпечена надійна інтеграція з API Telegram для прийому та відправки повідомлень в режимі реального часу. Наявність функціональної можливості розпізнавати команди від користувачів, які надіслані через Телеграм-бот, і передавати їх до відповідних компонентів системи для подальшої обробки. Всі обмінні дані між системою і Телеграм-ботом мають бути захищені, зокрема через використання автентифікаційних токенів і шифрування з'єднань. Усі запити та відповіді між системою і Телеграм-ботом мають реєструватися, що дозволить відстежувати та аналізувати історію спілкування для покращення сервісу.
F1.5	Модулі, що працюють з графічним інтерфейсом користувача (Телеграм-бот) і API легко замінюють один одного без потреби внесення змін до компонентів ядра.

F1.6	Налаштування та параметри системи вносяться та зберігаються у окремі конфігураційні файли, які підтримують формати JSON або XML. Конфігураційні файли мають чітко визначену структуру, яка забезпечує легкість читання та редагування параметрів. Важливі параметри, такі як ключі доступу або паролі, захищені або зовнішнім шифруванням, або специфічними механізмами зберігання. Система забезпечує легкий доступ до конфігураційних файлів для адміністраторів, але обмежує доступ для інших користувачів. Система підтримує автоматичне створення резервних копій конфігураційних файлів. Зміни у конфігураційних файлах враховуються системою без необхідності перезавантаження або перезапуску сервісів.
F1.7	Система працює як серверний додаток, запущений у фоновому режимі. Система забезпечує стабільність та неперервність роботи 24/7, автоматично відновлюючись після збоїв або перебоїв живлення. В системі має вестись журнал подій, який допоможе відстежувати та аналізувати роботу системи.
F1.8	Система підтримує можливість безперебійних оновлень, дозволяючи вносити зміни без зупинки сервісу.
F1.9	Система оптимізує використання процесорного часу, пам'яті та інших ресурсів, щоб не заважати іншим додаткам.
F1.10	Допускається застосування і приєднання до системи зовнішніх програмних пакетів та бібліотек, створених сторонніми розробниками, якщо їх ліцензія дозволяє їх вільне використання.
F2	Бази даних / знань
F2.1	Система використовує, відповідно до потреб певного компоненту, графові, реляційні, документно-орієнтовані та інші бази даних і системи управління базами даних (залежно від специфіки задачі, система може використовувати також ключ-значення, колоночні, об'єктно-орієнтовані бази даних та ін.). Незалежно від типу бази даних, всі дані повинні бути захищені від несанкціонованого доступу, збоїв і втрат.

F2.2	Залежно від обраного типу бази даних, система забезпечує оптимальний запит до бази, ефективне зберігання та відновлення даних.
F2.3	Система має засоби для інтеграції різних баз даних, дозволяючи їм взаємодіяти між собою та обмінюватися даними.
F2.4	Дані онтологічного графу, що є основною базою знань системи, представлені та зберігаються у форматі OWL, що є стандартом для представлення онтологій у Вебі. Всі сутності і предикати онтології не тільки відповідають формату OWL, але й дотримуються всіх його специфікацій і обмежень. Це забезпечує стабільність, надійність та сумісність бази знань з іншими системами.
F2.5	Обов'язкове використання інструментів для валідації онтологічного графу, щоб перевіряти, чи відповідають сутності та предикати стандарту OWL та чи немає в них порушень або протиріч.
F2.6	База знань системи може бути розподіленою та розділеною в межах графової бази даних: – розподілена структура бази знань забезпечує швидший доступ до даних, оскільки запити обробляються паралельно в різних частинах бази; – система дозволяє організацію знань не як одну масивну OWL-онтологію, а як сукупність менших пов'язаних онтологій. Такий підхід сприяє більш швидкому доступу до конкретних блоків інформації та гнучкому управлінню змінами в структурі знань; – при розподіленні або розділенні онтологій важливо забезпечити, щоб взаємозв'язки між різними частинами бази знань зберігалися належним чином і інформація могла бути відновлена в повному обсязі; – OWL-онтології повинні бути легко інтегровані.

F2.7	Отримані результати запитів до онтологічної бази знань зберігаються (кешуються) у реляційній СУБД під управлінням PostgreSQL. Це дозволяє швидко отримувати дані без необхідності звернення до первинної бази при повторних запитах. Система має механізми автоматичного оновлення кешованих даних, щоб вони відповідали актуальному стану онтологічної бази. Для оптимізації продуктивності може бути застосована стратегія ке-шування з використанням «Термін придатності», де старі записи автоматично видаляються через певний час або при досягненні максимального обсягу кешу.
F2.8	У якості системи для зберігання OWL-онтологій та виконання запитів до неї має використовуватися Apache Jena Fuseki. У випадку, якщо Apache Jena Fuseki не задовольнить потреби проєкту, може бути використана будь-яка інша СУБД з відкритим вихідним кодом, яка підтримує завантаження даних у форматі OWL (RDF/XML). Обрана СУБД повинна підтримувати виконання запитів на мові SPARQL, що дозволяє здійснювати гнучке та ефективне пошукове запитання до онтологічних даних.
F2.9	Мовою запитів до бази знань є SPARQL.
F2.10	Окрім OWL формату, для зберігання графу онтології допускається використовувати графову СУБД (Neo4j). В цьому разі формальні запити будуються на мові Cypher.
F2.11	Онтології, що містяться у системі розділяються за вузькою тематикою певної предметної галузі.
F2.12	Має бути забезпечена автоматизована взаємодія системи із онтологічною базою знань та допоміжною СУБД PostgreSQL.

F2.13	OWL-онтологія має чітку наперед визначену структуру для забезпечення уніфікації набору шаблонів SPARQL запитів, що не повинна значно та без зворотної сумісності змінюватися при подальшому розвитку системи.
F2.14	Системи управління базою знань і реляційною базою даних працюють як окремі незалежні сервіси.
F3	Інтерфейс користувача
F3.1	Система забезпечує графічний інтерфейс користувача, що дає можливість спілкуватися із системою природною мовою у текстовому режимі. У якості такого інтерфейсу може виступати зовнішній сервіс обміну повідомленнями, наприклад, Телеграм-бот.
F3.2	Графічний інтерфейс користувача може бути окремим застосунком, що взаємодіє із системою через API.
F3.3	Обробка повідомлень користувача протидіє потенційно шкідливим для системи повідомленням, як-то занадто довгі тексти, невідомі символи, часта відправка вхідних або вихідних повідомлень, тощо.
F3.4	Для створення графічного інтерфейсу користувача і для інтерфейсу роботи з базами даних і базами знань системи залучаються готові рішення, в тому числі такі, що йдуть у комплектації відповідних СУБД та фреймворків.
F4	Мова і термінологія

F4.1	Назви хвороб і ступенів функціональності, що містяться в системі та її базах, даних повинні відповідати Міжнародній статистичній класифікації хвороб і проблем, пов'язаних зі здоров'ям (МКХ-10, англ. International Statistical Classification of Diseases and Related Health Problems, ICD-10) та Міжнародній класифікації функціонування, обмежень життєдіяльності та здоров'я (МКФ, англ. International Classification of Functioning, Disability and Health, ICF), відповідно.
F4.2	У компонентах інтерфейсу системи допускається вживання спеціалізованих символів, а також посилання на веб-ресурси, e-mail адреси, посилання на документи, зображення та інші медіа матеріали.
F4.3	Назви на екзотичних мовах, що використовують не латинські і не кириличні символи (китайська, японська, арабська, іврит, тощо), при необхідності їх наведення (пункт F4.2 цієї специфікації), транслітеруються символами латинського (англійського) алфавіту.
F5	Інтерфейс прикладного програмування (API)
F5.1	Система повинна мати інтерфейс прикладного програмування (API).
F5.2	В основу взаємодії через API повинні бути покладені POST-запити.
F5.3	Форматом передачі даних до API та отримання відповіді JSON.
F5.4	API має забезпечити роботу у режимах передачі «сирого» тексту вхідного повідомлення у вигляді значення певного поля у JSON структурі, що передається, та виконання певного запиту до бази знань із переданим набором параметрів.
F6	Призначення системи

F6.1	Система призначена для супроводження комплексних телереабілітаційних заходів шляхом інтерактивної інформаційно-довідкової підтримки на всіх етапах реабілітаційного циклу, починаючи від формулювання реабілітаційної цілі і прогнозу, закінчуючи методологічними рекомендаціями і супроводженням процесів реабілітації.
F6.2	Функції, які виходять за рамки предметної області, означеної у пункті F6.1 даної специфікації, не передбачаються даною системою.
F6.3	Потенційними користувачами системи є лікарі (насамперед у галузі фізичної та реабілітаційної медицини), студенти медичних і суміжних з медичними спеціальностей та пацієнти (в режимі телереабілітації).

Таблиця 4.2 – Специфікація вимог до безпеки та надійності

RQ код	RQ опис
F1	Безпека інформації
F1.1	Доступ до онтологічної бази знань та допоміжної реляційної СУБД реалізується через систему аутентифікації на основі логіна та пароля. Доступ до даних через графічний інтерфейс вимагає введення логіна та пароля.
F1.2	Після декількох спроб введення неправильного пароля, система блокує користувача на визначений час або повідомляє адміністратора про спробу несанкціонованого доступу.
F1.3	Кожна база даних і база знань, що функціонує в системі, потребує окремого паролю.

F1.4	При інтеграції з іншими системами або при доступі до бази знань за допомогою API, також повинна використовуватися система аутентифікації на основі логіна та пароля. Всі повідомлення, в яких не міститься або не є вірним пароль, ігноруються.
F1.5	Пароль доступу до системи через API зберігається у зашифрованому вигляді (як hash-код, з якими зіставляється введений пароль після його хешування за тим самим алгоритмом). Всі додаткові конфіденційні дані, зберігаються у зашифрованому вигляді, використовуючи сучасні методи шифрування.
F1.6	Програмна взаємодія із інтерфейсом користувача (зокрема, Телеграм-ботом) здійснюється з використанням відповідного секретного токена, що не розповсюджується.
F1.7	Паролі можуть зберігатися у базі даних, у коді програми або в окремих файлах на сервері, але лише у вигляді hash-кодів.
F1.8	Запити до API, що не відповідають встановленому формату передачі даних, ігноруються.
F1.9	Доступ по SSH до сервера, на якому зберігаються і працюють компоненти системи, потребує авторизації з окремим логіном і паролем або SSH-ключем.
F1.10	Програмні файли системи зберігаються на сервері в окремому каталозі, доступ до редагування вмісту якого має лише користувач з правами адміністратора.

F1.11	Логін і пароль адміністратора у всіх компонентах системи, які того потребують, не повинен бути очевидним і тривіальним, а саме: – не дозволяється використовувати у якості логіну слова «admin», «root», «postgres», «main», тощо; – не допускаються паролі типу: «1111», «123456», «qwerty», «abcd» і тому подібні тривіальні поширені комбінації символів; – не допускається, щоб логін і пароль співпадали; – рекомендовано для більшої надійності використовувати у якості паролю комбінації літер різного регістру, цифр і символів у кількості не менше 8-ми. При цьому не слід допускати комбінацію латинських і кирилических символів через схожість багатьох літер. Використовувати лише стандартні латинські літери і цифрові символи.
F1.12	Заборонено використовувати проміжні інтерфейси авторизації користувачів із правами адміністрування і редагування баз даних і без знань, крім веб-сторінки авторизації, яка надходить з даної системи.
F1.13	Автоматичне спрямування (redirect) може здійснюватися тільки на адреси, які належать до домену даної системи, за виключенням спеціально оговорених, перевірених адрес.
F1.14	Система повинна відповідати вимогам законодавства України «Про захист інформації в інформаційно-телекомунікаційних системах», «Про захист персональних даних» та інших нормативно-правових актів, що регулюють питання захисту інформації, у тому числі в інформаційно-телекомунікаційних системах.
F2	Надійність системи

F2.1	Система має гарантувати стабільну роботи системи при одночасному доступі багатьох користувачів. Користувачі повинні мати можливість працювати паралельно без взаємних перешкод.
F2.2	Система повинна бути стабільною, щоб уникнути непередбачуваних збоїв, незалежно від кількості одночасних запитів.
F2.3	Виникнення помилки при роботі з певним користувачем не повинно призводити до зупинення, зависання чи руйнування всієї системи і якимось чином негативно впливати на роботу системи з іншими користувачами.
F2.4	Час відклику системи не повинен суттєво збільшуватися незалежно від обсягу завантаження, що гарантує відсутність лагів та затримок для кінцевого користувача.
F2.5	Збої у роботі програмної системи не повинні призводити до безповоротної втрати інформації з баз даних та пошкодженню програмних та конфігураційних файлів.
F2.6	Передбачається використання системи балансування навантаження для розподілення запитів між серверами.

4.1.2 Інформаційна модель та інструментарій розробника системи MedRehabBot

Система MedRehabBot використовує інформаційну модель, що ґрунтується на композитному сервісі (S) з трикомпонентного кортежу [1, 12, 13]. Ця модель дає змогу інтегрувати різноманітні сервіси у межах системи [1]:

$$S = \langle D, F, E \rangle \quad (4.1)$$

де $D = \left\{ ws_w, as_d \mid w = \overline{1, k}, d = \overline{1, l} \right\}_{k, l = \overline{1, N}}$ – набір вебсервісів (ws_w) та прикладного програмного забезпечення (as_d), що доступний для розробників, який дає змогу

розробляти різноманітні застосунки та сервіси всередині системи, тобто набір для розроблення системи MedRehabBot,

N – множина цілих невід’ємних чисел;

$F = D : \{C_j | j = \overline{1, n}\}_{n=\overline{1, N}}$ – набір функцій, які охоплюють функціональні аспекти інформаційної технології, яку реалізує система MedRehabBot. Кожна функція відповідає конкретному конвеєру або процесу управління знаннями, який реалізується в результаті інтеграції та взаємодії елементів в межах D ;

$C_j \subseteq D, C_j = \{ws_o, as_p | o, p \geq 0, o \leq k, p \leq l\}_{o, p=\overline{1, N}}$ – підмножина вебсервісів та прикладного програмного забезпечення, які потрібні для успішної реалізації j -ї функції в межах D ;

$E = \{prl, os, floss\}$ – набір елементів, які об’єднуються разом у межах рівневої структури та формують Інтегроване середовище розвитку знань (англ. *Knowledge Integrated Development Environment, K-IDE*) [3, 12].

Елемент prl являє собою фізичне обладнання та ресурси об’єкта, як визначено у [14].

Формалізоване представлення вебсервісів ws та as , а також їхні складові детально описані в [1].

На поточному етапі життєвого циклу програмної системи MedRehabBot комплект розроблення (D) складається з наступного набору проблемно-орієнтованих вебсервісів (ws) та прикладного програмного забезпечення (as):

ws_1 – WebProtégé [15] – безкоштовне середовище розробки онтологій з відкритим вихідним кодом. За допомогою WebProtégé розробники можуть легко створювати, завантажувати, змінювати та співпрацювати з онтологіями, забезпечуючи безперешкодний спільний перегляд та редагування.

ws_2 – Apache Jena Fuseki [16] – ПЗ, що надає HTTP-інтерфейс для роботи з RDF-даними.

ws_3 – KEn [9] – мережевий інструментарій (вебсервіс з API) для контекстного та семантичного аналізу з функцією побудови таксономії документів.

Вебсервіс KEn підтримує оброблення текстів, поданих англійською та українською мовами. Вебсервіс KEn пропонує комплексне оброблення природномовних текстів (англ. *Natural language processing*, NLP): видобування текстових даних; попереднє оброблення тексту, перевірка та автоматичне виправлення орфографії, токенизація речення/слова, тегування частин мови, лематизація, поверхневий синтаксичний та семантичний аналіз, генерація спеціалізованих JSON/XML-структур. Вебсервіс KEn було удосконалено та адаптовано для роботи з текстовими документами з тематики ФРМ.

ws4 – мережевий сервіс аналізу природномовних фраз [3, 11] – спеціалізований вебсервіс, що дозволяє будувати семантичні дерева для фраз. Ці семантичні дерева є ключовим елементом у формуванні SPARQL запитів для встановлення зв’язків з/між онтологіями. Кожне семантичне дерево визначається словами-маркерами і типами виразів, які надають важливу інформацію про структуру речення. У деяких випадках декілька семантичних дерев можуть бути ідентифіковані в межах початкового речення, що дозволяє генерувати відповідні SPARQL запити для кожного конкретного дерева.

ws5 – *UkrVectōrēs* [10, 17, 18] – потужний інструмент для пошуку, класифікації та прогнозування знань на основі технологій розуміння природної мови (англ. *Natural-language understanding*, NLU. *UkrVectōrēs* можна описати як «когнітивно-семантичний калькулятор», який слугує потужним інструментом для дистрибутивного та семантичного аналізу. Цей вебсервіс включає в себе кілька основних елементів, серед яких: обчислення семантичної подібності; найближчі сусіди слів (цей функціонал допомагає досліджувати слова зі схожими значеннями або асоціаціями); алгебраїчні операції над векторами слів; семантичне відображення (створення семантичних карт, наприклад для візуалізації згаданих вище кластерів конвергенції); доступ до первинних векторів і функцій візуалізації; використання сторонніх прогностичних моделей. Вебсервіс KEn було удосконалено та адаптовано для дистрибутивного та семантичного аналізу сутностей (слів) з тематики ФРМ, зокрема додана дистрибутивна модель «Біла книга Фізичної та реабілітаційної медицини у Європі».

*as*₁ – набір десктопних сервісів, який дозволяє в напівавтоматичну та повністю автоматичну режимі генерацію OWL онтології (входить до репозиторію [2]) з природномовного тексту. Він також підтримує напівавтоматичний імпорт знань з набору даних, фіксує їх у вигляді RDF-трійок та зберігає у сховищі RDF-трійок.

4.1.3 Автоматизоване створення бази знань з використанням комп'ютерних онтологій

Вихідними даними для аналізу виступили документи у форматі PDF, які представляють собою наукові праці у сфері ФРМ – EBSCO articles dataset (домен знань: реабілітаційна медицина). Ці документи супроводжуються файлами формату JSON, що містять метадані. Загалом, датасет складається з 1013 файлів, які займають 192 МБ об'єму. Важливим аспектом є те, що всі статті написані англійською мовою та мають подібну структурну будову, що спрощує процес їх перетворення в організовану базу даних. Після детального аналізу розділів, підрозділів та основної тематики цих статей, було розроблено спеціалізовану JSON-структуру. Ця структура призначена для зображення основного змісту кожної індивідуальної статті і може включати поля, такі як: заголовок, автор, дата публікації, анотація, ключові слова, основний текст, висновки, посилання на літературу тощо. Це забезпечує уніфіковане представлення інформації і спрощує подальший аналіз і обробку даних.

Приклад розробленої спеціалізованої JSON-структури статті має наступний вигляд:

```
{
  "metadata": {
    "title": "", "synonyms": [], "anatomical location body part affected": [], "area of specialty": [],
    "description": [], "indications": [], "ICD-9 codes": {}, "ICD-10 codes": {}, "ICD-11": {},
    "G-codes": {}, "CPT codes": {}, "HCPCS codes": {}, "reimbursement": [],
    "presentation signs and symptoms": [], "contraindications precautions to test": [],
    "psychometric properties": [], "potential complications adverse effects": [],
    "test preparation materials required": [], "test procedure": [], "test scoring interpretation": [],
    "causes & risk factors": {}, "indications for procedure": [], "overall contraindications precautions": [],
    "contraindications precautions to procedure": {}, "guidelines for use of procedure": {},
    "examination": {
      "contraindications precautions to examination": [], "history": {
        "history of present illness": {
```

```

        "mechanism of injury or etiology of illness": "",
        "course of treatment": {
            "medical management": "", "surgical management": [],
            "medications": "", "diagnostic tests completed": [],
            "alternative therapies": "", "previous therapy": ""
        },
        "aggravating easing factors": "", "body chart": "", "nature of symptoms": "",
        "rating of symptoms": "", "pattern of symptoms": "", "sleep disturbance": "",
        "other symptoms": "", "respiratory status": ""
    },
    "medical history": { "past medical history": {
        "previous history of same similar diagnosis": "",
        "comorbid diagnoses": "", "medications previously prescribed": "",
        "other symptoms": "" } },
    "social and occupational history": {
        "patient's goals": "",
        "vocation avocation and associated repetitive behaviors, if any": "",
        "functional limitations assistance with ADLs adaptive equipment": "",
        "living environment": "" } },
    "relevant tests and measures": {
        "general": "", "anthropometric characteristics": "", "assistive and adaptive devices": "",
        "balance": "", "cardiorespiratory function and endurance": [], "circulation": "", "functional mobility": "",
        "gait locomotion": "", "muscle strength": "", "observation inspection palpation including skin assessment":
        [], "posture": "", "range of motion": "", "self-care activities of daily living": "", "reflex testing": "", "sensory testing":
        "", "special tests specific to diagnosis": [], "speech and language examination": "", "neurological examination": "",
        "oral structure and oral motor function": "", "perception": "", "sensory testing": "", "special tests specific to diag-
        nosis": "", "arousal attention cognition": "", "aac assessment": "", "swallow examination": "", "tracheostomy
        examination": "" } },
    "assessment plan of care": {
        "contraindications precautions": {
            "cryotherapy contraindications": [], "cryotherapy precautions": [], "contraindications pre-
            cautions": [],

            "superficial heat is contraindicated with": [],
            "electrotherapy contraindications precautions include": [],
            "other": []
        },
        "diagnosis need for treatment": "",
        "rule out": "",
        "prognosis": [],
        "referral to other disciplines": "",
        "other considerations": [],
        "treatment summary": []
    },
    "desired outcomes outcome measures": {},
    "maintenance or prevention": [],
    "patient education": [],
    "references": []
}

```

У процесі реалізації проєкту була створена вказана структура, яка зберігається в файлі *structure.json*. Ця структура представляє собою схему, яка містить

основні елементи, що потрібно знайти в науковій статті, а також формати, у яких ця інформація повинна бути представлена у вигляді списку, словника або просто тексту.

Зважаючи на те, що назви розділів або підрозділів можуть відрізнятися в різних джерелах, було вирішено створити додатковий інструмент – словник синонімів. Цей словник полегшує автоматичний аналіз статей, допомагаючи ідентифікувати і розпізнавати різноманітні варіанти назв одних і тих самих розділів. Файл *synonyms.json*, де зберігається цей словник, містить пари ключ-значення, де ключем є стандартна назва розділу, а значенням – його можливі варіанти написання або синоніми. Така структура дозволяє системі гнучко і точно працювати із різними джерелами даних і забезпечує високий рівень точності обробки інформації.

Словник *synonyms.json* має наступний вигляд:

```
{
  "title": [ "procedure", "outcome measure test", "title condition" ],
  "description": [ "description and overview", "description use" ],
  "area of specialty": [ "area(s) of specialty", "areas of specialty" ],
  "causes & risk factors": [ "causes pathogenesis & risk factors", "causes pathophysiology & risk factors",
    "causes and risk factors", "causes pathophysiology and risk factors" ],
  "examination": [],
  "medications": [ "medications for current illness or injury" ],
  "alternative therapies": [ "home remedies and alternative therapies" ],
  "aggravating easing factors": [ "aggravating and easing factors", "aggravating easing factors and
length of time each item is performed before the symptoms come on or are eased" ],
  "relevant tests and measures": [ "relevant tests and measures while tests and measures are listed in alpha-
betical order sequencing should be" ],
  "cryotherapy contraindications": [ "cryotherapy contraindications include" ],
  "cryotherapy precautions": [ "cryotherapy precautions include" ],
  "history": [ "history history-taking may vary depending on the age of the individual presenting for evalua-
tion" ],
  "diagnosis need for treatment": [ "diagnosis need for procedure" ],
  "speech and language examination": [ "speech and language examination including reading" ],
  "self-care activities": [ "self-care activities of daily living", "self-care activities of daily living objective
testing", "self-care activities of daily living objective testing" ],
  "arousal attention cognition": [ "arousal attention cognition including memory problem solving", "arousal,
attention, cognition including memory, problem solving" ],
  "CPT codes": [ "CPT code" ],
  "contraindications precautions to examination": [ "contraindications and precautions to examination" ]
}
```

Ключі даного словнику відображають поняття із наведеної вище структури даних, їх значеннями є списки можливих синонімів.

Правила безпосереднього аналізу вихідних файлів прописані у Python скрипті *parser.py*, що у реалізації розташований у директорії *tools* [2]. При виконанні автоматизованого аналізу тексту програма орієнтується на ключі шаблону структури даних (їх наявність у тексті), а також на характерні для даних статей маркерні елементи розділів і вкладених структурних підрозділів, як то, наприклад «•», «>», «—» та інші розділові знаки.

Формування бази знань відбувається у два етапи. На першому етапі виконується первинний розбір вихідних PDF файлів та створення відповідного набору структурованих JSON файлів відповідних до статей, що мають антологічні назви, але з розширенням *.json. На другому етапі вже на базі отриманого набору JSON файлів створюється OWL опис графової бази знань у вигляді файлу OWL формату, або набору таких файлів (випадок розділеної бази знань).

4.1.4 Первинна обробка набору вихідних PDF документів

Для заданої вихідної директорії (за замовчуванням – *input_files*) отримується список назв файлів з розширенням *.pdf. Кожен файл зчитується і для нього виконується витягування тексту з використанням бібліотеки PyPDF2 (інструмент – PdfReader). Розбір отриманих із файлів текстів відбувається у паралельних процесах задля пришвидшення загальної процедури. Запуск процесу відбувається за допомогою Python скрипта *pdf2json.py*.

Тексти отримані з файлів аналізуються по рядках. Наявність у рядку маркерних символів та слів свідчить про початок нового розділу або підрозділу. Таким чином програма розміщує подальший текст наявного рядка та наступних рядків у відповідні ділянки структурного шаблону за встановленими правилами до тих пір поки не буде знайдено маркер закінчення поточного розділу/підрозділу або початку нового.

Заповнені JSON структури зберігаються у файли, назви яких відповідають назвам статей з розширенням *.json у директорії *parse_results*.

4.1.5 Розроблення OWL-опису для графової бази знань

Отриманий у вказаний вище спосіб набір JSON файлів вже в якійсь мірі можна вважати структурованою базою знань. Проте для полегшення подальшої

автоматизованої обробки і більшої систематизації інформації загальної і спільної для різних статей було вирішено також створити об'єднаний OWL (RDF/XML) опис бази знань. Це за структурою є база знань онтологічного типу, що цілком відповідає стандарту OWL і структурована у форматі RDF/XML. Але слід зазначити, що за своїм практичним використанням то не є класична онтологія, що передбачає подальший логічний вивід з використанням дескриптивних логік (reasoning). Фактично, то є форма представлення графової бази даних у форматі RDF/XML структурно подібна до OWL онтологій. Подальший вивід інформації з такої бази (inference) виконується за допомогою SPARQL запитів і у загальному випадку не передбачає отримання в такий спосіб нових знань. Для спрощення висловлення надалі таку базу знань називатимемо онтологією контекстів.

Структура класів створюваної онтології контекстів загалом відповідає пунктам наведеної вище JSON структури даних документа. Окрім того у онтології наявний клас *articles_names*, екземпляри якого представляють назви файлів статей. Самі тексти назв (без розширення) зберігаються у відповідних полях *label* цих екземплярів. Також у онтології додатково представлено окремі поняття, що зустрічаються у контекстах. З цією метою введено клас *words*. Він має підкласи, що відповідають частинам мови, що входять у поняття. В онтології зберігаються лише іменники, аббревіатури, прикметники, значущі дієслова (не допоміжні і не модальні), а також похідні віддієслівні форми. Окремі слова представлені у вигляді екземплярів відповідних класів. Самі тексти слів у початковій формі зазначені у полях *label* та *comment* цих екземплярів.

Отримані контексти у онтології представлені екземплярами класів (NamedIndividual) відповідних розділів. Повні тексти контекстів розміщено у полях *comment*, а скорочені у полях *label*.

У онтології наявні дві властивості (ObjectProperty):

- *relate_to_article* – вказує на приналежність контексту до статті;
- *relate_to_context* – вказує на приналежність поняття до контексту.

Властивості поєднують між собою екземпляри класів. Властивість *relate_to_article* має своїм доменом контексти класів розділів і підрозділів (явно не зазначений) та областю значень (Range) екземпляри класів назв статей (*articles_names*). Властивість *relate_to_context* має доменом екземпляри понять (слів), а областю значень екземпляри контекстів, де зустрічаються відповідні слова. Один і той самий контекст може зустрічатися у декількох статтях, відповідно до нього буде прив'язано певну кількість властивостей *relate_to_article*. Окреме поняття, може належати до цілого ряду контекстів.

Онтологія такої структури має високий потенціал щодо виведення релевантної інформації. Загальний принцип інференсу за запитом наступний: на вході маємо набір понять, знаходимо пов'язані з ними контексти, які в свою чергу належать до зазначених конкретних класів, ці контексти мають відношення до певних статей, у цих статтях можна відшукати контексти класів, що цікавлять.

Для автоматизованого створення на базі отриманого набору JSON файлів OWL опису онтології контекстів розроблено окремий скрипт *json2owl.py*. За шаблоном у онтології створюється ієрархічна структура програмних представлень OWL класів. Ці програмні представлення є екземплярами класів мови Python. Програмні класи для представлення OWL класів такі ж самі, як і інших OWL сутностей (властивостей, екземплярів, загальних структурних елементів RDF/XML файлу), представлені у файлі *ontology_components.py*, що знаходиться у директорії *tools*. Такий клас має поля, що відповідають стандартним OWL характеристикам:

Для OWL класів:

`id`, `parent_class_id`, `interactions`, `union`, `label`, `language`, `comment`, `equality`, `disjoint_with`, `deprecated`, `version_info`, `prior_version`, `incompatible_with`, `see_also`, `is_defined_by`, `backward_compatible_with`, а також `additional_fields` та `other_types_of_links` для нестандартних характеристик.

Для OWL властивостей:

id, domain_id, range_id, parent_id, label, language, comment, equality, asymmetric, functional, inverse_functional, irreflexive, reflexive, symmetric, transitive, deprecated, version_info, prior_version, incompatible_with, see_also, is_defined_by, inverse_of, disjoint_with, backward_compatible_with, а також additional_fields та other_types_of_links для нестандартних характеристик.

Для екземпляру класу:

id, of_class, label, language, equality, comment, assertions, deprecated, version_info, prior_version, incompatible_with, see_also, id_defined_by, backward_compatible_with а також additional_fields та other_types_of_links для нестандартних характеристик.

Поля можуть бути ініціалізовані при створенні програмного об'єкту та змінені в ході його існування. Можуть бути ініціалізовані не всі, а лише необхідні поля.

Кожен з таких класів має метод `serialize`, що на базі наявних ініціалізованих полів створює і повертає XML відповідну структуру за стандартами RDF/XML.

Екземпляри класів контекстів створюються на базі наявних у відповідних JSON представленнях текстових даних з виказанням відповідного значення поля *of_class*. При створенні об'єкту іменованої сутності до поля-словника *assertions* додається відповідне значення властивості *relate_to_article* – приналежність до статті. У разі якщо у іншій статті буде знайдено ідентичний контекст, новий екземпляр не створюється, а до списку значень *relate_to_article* у *assertions* надається відповідне посилання на екземпляр представлення статті. Аналогічні дії будуть виконані і при знаходженні ідентичного контексту у іншому класі: поле-список *of_class* буде доповнено ідентифікатором відповідного нового класу (один екземпляр контексту теоретично може належати до кількох класів, але на практиці у рамках даної задачі це трапляється не часто).

Для всіх класів представлення OWL сутностей визначено методи хешування (`__hash__`), а також дорівнює (`__eq__`) і не дорівнює (`__ne__`), що спрощує виконання вимоги дотримання унікальності OWL сутностей у рамках онтології.

З використанням інструментів бібліотеки NLTK та платформи KEn із контекстів виокремлюються слова, які класифікуються за частинами мови і приводяться до початкової форми (лематизуються). Якщо вони відповідають за вимогами до частин мови, на їх основі створюються представлення OWL екземплярів класу відповідної частини мови. При створенні такого об'єкту до його поля *assertions* додається властивість *relate_to_context*, що посилається на поточний контекст. Якщо слово повторно зустрічається у даному контексті, стовщення нового екземпляру ігнорується, якщо у іншому контексті, новий екземпляр також не створюється, але до списку значень властивості *relate_to_context* у *assertions* додається посилання на екземпляр нового контексту.

Коли основні OWL сутності на основі даних з усіх файлів створені, запускається функція *make_owl*, у яку передаються відповідні списки програмних об'єктів, а також загальні характеристики створюваної онтології у вигляді посилання на конфігураційний файл (за замовчуванням – *creator_config.xml*). Функція додає загальні компоненти RDF/XML структури і виконує серіалізацію програмних представлень OWL сутностей.

У рамках вирішуваної задачі приведення онтології до одного OWL файлу виявилось не зовсім зручним для подальшої обробки рішенням. Такий файл опиняється занадто великим, і виконання запитів до такої онтології стає повільним. Тому була передбачена можливість створення розбитої на декілька файлів (у поточній реалізації 10) онтології. Виконання серіалізації онтології відбувається у декілька потоків для пришвидшення процесу. Кількість потоків можна задати у параметрі *threads_n* функції *make_owl*. У загальних налаштуваннях цей параметр задається у файлі *settings.json*.

Створений OWL файл або набір OWL файлів зберігається у директорії *owl* під назвою *ContextOntology.owl*. Якщо створюється набір з *n* файлів то вони іменуються *ContextOntology_1.owl*, *ContextOntology_2.owl*, ... *ContextOntology_n.owl*.

Загальні налаштування містяться у файлі *settings.json*. Він має наступний вигляд:

```
{
    "input_files_dir": директорія вихідних PDF файлів (текст),
    "output_dir": директорія зберігання JSON файлів з результатами розбору (текст),
    "threads_n": кількість потоків при розпаралелюванні (ціле число),
    "add_text_list": чи створювати окремий файл зі списком всіх окремих понять виділених з контекстів (true/false),
    "ensure_ascii": параметр обробки символів при JSON серіалізації (true/false)
}
```

Також існує окремий файл налаштувань створення онтології *creator_config.xml* у директорії tools. Його структура наступна:

```
<creator_config>
  <owl>http://www.w3.org/2002/07/owl#</owl>
  <rdf>http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#</rdf>
  <rdfs>http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#</rdfs>
  <xsd>http://www.w3.org/2001/XMLSchema#</xsd>
  <base>http://www.semanticweb.org/</base>
  <xmlns>http://www.semanticweb.org/</xmlns>
  <name>ім'я онтології, в даному випадку - ContextOntology</name>
  <language>мова онтології, в даному випадку – en (англійська)</language>
</creator_config>
```

Поля цього файлу, окрім <name> та <language> є визначенням основних OWL предикатів і у більшості випадків лишаються незмінними.

У разі вказування значення true для параметру *add_text_list* у файлі *settings.json* буде створено додатковий файл у директорії owl під назвою *all_words.json*. Він містить JSON список всіх понять у початковій формі, знайдених у контекстах онтології. В подальшому він використовується для фільтрації вихідних понять при роботі діалогової системи. Поняття, що не є маркерними і не зазначені у даному файлі, будуть виключені з розбору разом із так званими стоп-словами. Наразі файл містить 63145 слів, включаючи аббревіатури і номерні структури.

4.2 Програмна реалізація системи MedRehabBot

Розроблено інформаційну довідкову діалогову систему з питань медичної реабілітації. Система має природно мовний інтерфейс користувача, а також API для взаємодії з іншими додатками через POST-запити зазначеної структури.

Природно мовний діалоговий інтерфейс користувача наразі існує у вигляді телеграм-боту. Система може бути корисною як джерело довідкової інформації для лікарів, насамперед тих, що працюють у сфері реабілітаційної медицини, а також для студентів медиків.

4.2.1 Програмне серверне ядро системи MedRehabBot

Основні алгоритми, що відповідають за функціонування системи, реалізовані у вигляді серверного застосування на мові Python. Для роботи з базою знань онтологічного типу задіяна СУБД Apache Jena Fuseki. Python додаток складається з наступних модулів:

preprocess_input.py – реалізує первинний аналіз повідомлення користувача і визначення семантичних категорій висловлених у ньому;

form_queries.py – відповідає за формування пакетів SPARQL-запитів;

process_queries.py – втілює відправлення запитів на виконання до серверу Jena Fuseki і обробку їх результатів;

processor.py – поєднує та координує роботу модулів *preprocess_input.py*, *form_queries.py* та *process_queries.py* від отримання вихідного тексту до формування відповіді.

Також система має модулі *webhook.py* для взаємодії з сервісом обміну повідомленнями Telegram та *api.py*, що реалізує програмний інтерфейс API даного застосунку.

4.2.2 Первинна обробка текстових природномовних повідомлень користувача

На вході діалогова система отримує текстове повідомлення від користувача, що може надійти як від інтерфейсу користувача так і за допомогою API. Спочатку текст повідомлення очищується від недозволених символів. Дозволеними в даному випадку є літери латинського (англійського) алфавіту, пробільний символ, крапка, дефіс, символи абзацу та переходу рядка. Всі інші є недозволенними для подальшої обробки і очищуються. За допомогою інструментів бібліотеки NLTK виконується токенізація тексту до окремих слів і визначення частин слова, до яких вони належать. Слова приводяться до початкової форми

(лематизація) та виконується очищення стоп-слів. До стоп-слів належать артиклі, союзи, прийменники, займенники, питальні слова, допоміжні і модальні дієслова, частки. Список стоп-слів було доповнено також словами «give» (дай), «show» (покажи), «present» (надай), які є поширеними при спілкуванні з довідковою системою, але самі собою в даному контексті не є інформативними для неї. Також текст очищується від слів, які не включені до списку понять, що представлені у базі знань. Таким чином, оброблений текст являє собою список значущих слів, приведених до початкової форми.

Далі проводиться визначення спеціальної семантичної категорії або набору категорій, висловлених у даному повідомленні. За кожен з таких категорій відповідає окремий SPARQL запит. Наразі у системі реалізовано 26 таких категорій: «*synonyms*», «*symptoms*», «*indicatons*», «*patient education*», «*description*», «*reimbursement*», «*test*», «*rule out*», «*treatment summary*», «*relations*», «*prognosis*», «*diagnosis need for treatment*», «*contraindications precautions*», «*causes*», «*pathogenesis*», «*g-code*», «*any_code*», «*any_icd*», «*icd 9*», «*icd 10*», «*icd 11*», «*hcpcs*», «*cpt*», «*articles*», «*references*» та «*contexts*». Але існує можливість розширення їх кількості. Спеціальна семантична категорія визначається через наявність у отриманому списку певних маркерних слів. Співставлення цих категорій з маркерними словами реалізовано у вигляді словника у файлі *marker_words.json*. У даному словнику кожній із зазначених категорій співставляється список або набір списків маркерних слів. Наприклад:

```
"icd 10": [
    ["icd", "10", "code"], ["icd-10", "code"],
    ["icd", "10"], ["icd-10"]
],
"risk factors": [
    ["higher", "risk", "factors"],
    ["risk", "factor"], ["risk"]
]
```

Список слів проходить перевірку через усі наявні категорії. При цьому відмічається, які саме маркерні слова зі списку визначили кожен конкретну категорію. Якщо списки маркерних перетинаються, то обирається найдовший з них, всі слова якого містяться у списку, що аналізується. Слова, що входять у синтактико-семантичну групу (речення, частина речення) і не були визначені

як маркерні для жодної з категорій помічаються як параметри запиту. Семантична категорія визначає тип запиту. Якщо для синтактико-семантичної групи не було визначено жодної з наявних спеціальних семантичних категорій їй присвоюється категорія «*contexts*», а самі слова стають параметрами відповідного запиту.

На виході повертаються списки визначених спеціальних семантичних категорій, та відповідні слова – параметри запитів.

4.2.3 Формування SPARQL-запитів і взаємодія з базою знань

За формування SPARQL-запитів відповідає модуль `form_queries.py`. Кожній визначеній у системі спеціальній семантичній категорії відповідає свій шаблон SPARQL-запиту. Шаблони зберігаються у вигляді словнику JSON формату у файлі `query_templates.json` [2]. Ось приклад такого шаблону:

```
"description": {
  "verbose": "description for the case of",
  "parts": [
    {
      "type": "constant",
      "n": 1,
      "body": ["PREFIX rdf: <http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#>",
        "PREFIX rdfs: <http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#>",
        "PREFIX owl: <http://www.w3.org/2002/07/owl#>",
        "PREFIX xsd: <http://www.w3.org/2001/XMLSchema#>",
        "PREFIX name: <http://www.semanticweb.org/ContextOntology#>",
        "SELECT DISTINCT ?topic ?context_text ?article_name ?scope",
        "WHERE {[]",
        {
          "type": "listed input",
          "n": 2,
          "body": ["?word_>_order_< rdfs:label >_input_<@en.",
            "?word_>_order_< name:relate_to_context ?context."
          ]
        },
        ],
      },
    {
      "type": "constant",
      "n": 3,
      "body": [
        "?context rdf:type ?context_class.",
        "?context name:relate_to_article ?article.",
        "?article rdfs:label ?article_name.",
        "?title name:relate_to_article ?article.",
        "?title rdf:type name:cl_title.",
        "?title rdfs:label ?scope.",
        "?out_context name:relate_to_article ?article."
      ]
    }
  ]
}
```

```

        "?out_context rdf:type ?out_context_class.",
        "?out_context rdfs:comment ?context_text.",
        "?out_context_class rdfs:label ?topic.",
        "FILTER ((?out_context_class = name:cl_description) &&",
            "(?context_class = name:cl_title ||",
            "?context_class = name:cl_description ||",
            "?context_class = name:cl_synonyms ))",
        ".} ORDER BY ?scope ?topic"
    ]
    },
    "outputs": {
        "scope": {"sortage": "primary", "verbose": "Scope: "},
        "topic": {"sortage": {"by each": "scope"}, "verbose": "Topic: "},
        "context_text": {"sortage": {"by each": "topic"}, "verbose": ""},
        "article_name": {"sortage": {"group": "scope"}, "verbose": "Related articles:"}
    }
}

```

Ключами у словнику виступають назви відповідних спеціальних семантичних категорій, у прикладі вище – це «description» (опис зазначеного явища). Значенням є словник із наступними ключами:

«*verbose*» – фрагмент фрази, що передуватиме відповіді;

«*parts*» – список частин, з яких буде формуватися SPARQL запит (основний розділ);

«*outputs*» – інструкція щодо упорядкування структури відповіді з даних, отриманих при виконанні запиту.

Розглянемо детальніше розділі «parts». Значенням для ключа «parts» є список, кожний елемент якого відповідає частині запиту. Шаблон частини запиту є словником із наступними ключами:

«*type*» – тип частини. Передбачені наступні типи: «*constant*» – частина підставляється при формуванні запиту без змін; «*listed input*» – при формуванні запиту частина підставляється для кожного з переданих параметрів (слів). При цьому частина *>_input_<* замінюється на значення відповідного вхідного параметра запиту, частина *>_order_<* замінюється на інкрементне цілочислене значення (1, 2, 3, ... n), приведене до рядкового типу для уникнення повторення

однакової змінної запиту; «*single input*» – замість частини $>\_input\_<$ один параметр підставляється лише один раз, а для наступного параметра, якщо такий є, формується цілком новий запит;

«*n*» – порядок слідування частини шаблону при формуванні запиту для захисту від перемішування частин;

«*body*» – список рядків запиту, що формується. Рядки можуть містити місця для підстановки параметрів $>\_input\_<$ та інкрементних значень $>\_order\_<$.

Робота модулю фактично зводиться до обирання зі словнику відповідних шаблонів і конкатенації частин запиту у зазначеному порядку при необхідності замінюючи відповідні місця на вхідні параметри.

Розділи «*outputs*», так само як і «*verbose*», не використовуються безпосередньо модулем `form_queries.py`, але вони передаються разом із запитом і необхідні для подальшого формування відповіді.

Виконання SPARQL запитів, як і зберігання бази знань, виконується СУБД Jena Fuseki. Взаємодію з нею забезпечує модуль `process_queries.py` з використанням інструментів програмної бібліотеки SPARQLWrapper. Так як онтологія є розподіленою, розбитою на частини, кожен запит з пакету, що надійшов, виконується окремо до кожної з частин. Виконання SPARQL є досить повільним процесом. Для пришвидшення процесу запиту до всіх частин виконуються паралельно у декілька потоків. Змістовні відповіді можуть бути отримані від однієї або декількох частин онтології. Кожна відповідь є JSON представленням таблиці з полями відповідно запиту. Отримані від декількох частин онтології такі таблиці поєднуються.

4.2.4 Формування структурованої природномовної відповіді

Відповідь, отримана від Jena Fuseki на запити, має структуру не зовсім прийнятну безпосередньо для представлення користувачеві у інтерфейсі діалогової системи і навіть відповіді через API. Окрім метаданих така відповідь містить таблицю результатів у форматі JSON списку словників. Кожен елемент списку відповідає рядку таблиці у вигляді словника, ключами якого є назви полів (стовбців) таблиці, а значеннями є дані для відповідного поля цього рядка.

Для розгортання відповіді більш зручною є вкладена ієрархічна деревоподібна структура. Приведення до такого представлення виконується даним модулем. Інструкції щодо формування такої структури відповідно для кожного типу запити наведені у шаблонах запитів у розділах *«outputs»*. Наведемо приклад інструкції *«outputs»*:

```
{
  "scope": {"sortage": "primary", "verbose": "Scope: "},
  "topic": {"sortage": {"by each": "scope"}, "verbose": "Topic: "},
  "context_text": {"sortage": {"by each": "topic"}, "verbose": ""},
  "article_name": {"sortage": {"group": "scope"}, "verbose": "Related articles:"}
}
```

Ключами цього словника є назви полів таблиці результатів, у наведеному прикладі – це *«scope»*, *«topic»*, *«context_text»* та *«article_name»*. Значенням для кожного з них є словник з ключами *«sortage»* і *«verbose»*. Значення ключа *«sortage»* відповідає ієрархії і типу впорядкування відповідних даних у структурі відповіді. *«primary»* вказує на найвищий рівень, таке значення повинне бути присутнє обов'язково для одного з полів. Ключ *«by each»* вказує, що для кожного зі значень зазначеного в ньому поля повинні йти словникові структури даних для даного поля. Тобто, наприклад, *«topic»* повинен вказуватися для кожного відповідного йому значення поля *«scope»*. У кожному *«scope»* може бути декілька *«topic»*, поєднаних загальним *«scope»*. При цьому для *«topic»* можуть бути свої відповідні вкладення, в даному випадку *«context_text»* – тексти відповідного розділу. Другий тип сортування – це *«group»* Він означає, що значення для відповідного поля повинні бути включені до відповідного поля групування у вигляді не словника, а списку значень. Приклад такої сформованої вихідної структури даних буде наведено нижче у розділі 4.3.6 «Прикладний програмний інтерфейс API системи MedRehabBot».

Розділ *«verbose»* визначає преамбулу, що її буде поміщено перед відповідним значенням при його відображенні відповіді у інтерфейсі користувача.

4.2.5 Графічний інтерфейс користувача системи MedRehabBot у вигляді Телеграм-боту

Для реалізації діалогового природномовного інтерфейсу користувача діалогової системи було створено Телеграм-бот (рисунок 4.1), наразі доступний за посиланням: <https://t.me/MedicalRehabBot> [2].

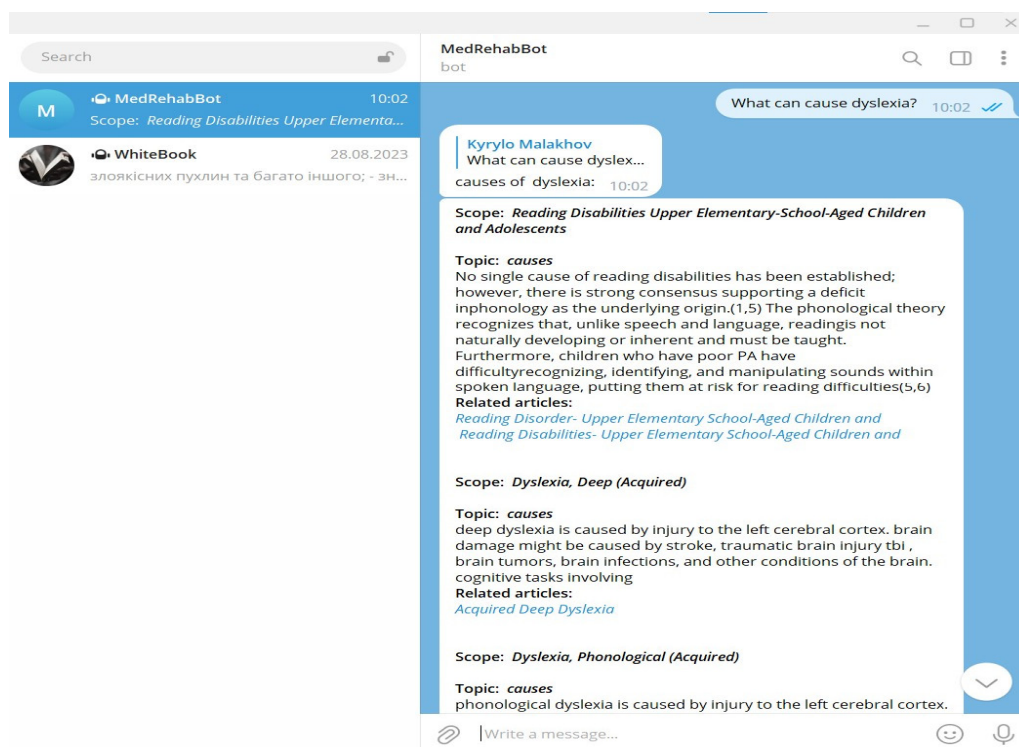


Рисунок 4.1 – Графічний інтерфейс користувача системи MedRehabBot у вигляді Телеграм-боту.

Взаємодію з даним телеграм-ботом здійснює модуль *webhook.py*, що є причому і точкою запуску системи. Для реалізації взаємодії с API сервісу Telegram застосовано інструменти програмної бібліотеки *telebot*.

Після запуску програми *webhook.py* відбувається асоціювання із відповідним Телеграм-ботом за вказаним унікальним кодом (токеном). Після чого у нескінченному циклі починається відстеження повідомлень користувачів у всіх телеграм чатах відповідних до даного бота. Також створюється екземпляр класу Responder з модулю *processor.py*, що втілює всі процеси обробки повідомлень, виконання і обробки результатів запитів, реалізованих в модулях системи.

Якщо чат відкрито певним користувачем вперше, то у інтерфейсі відображається кнопка для початку розмови. Після її натискання ініціюється чат з даним користувачем, а він отримує стандартне повідомлення «This is a reference system for Rehabilitation Medicine.» або «Sorry, but an error occurred...» у разі виникнення помилки ініціалізації. Далі кожне повідомлення від користувача отримується і обробляється функцією `get_text_messages(message)` модулю `webhook.py`, що має декоратор `@bot.message_handler(content_types=['text'])`, який вказує на обробку текстових повідомлень.

Для обробки повідомлень, отримання і зворотної відправки відповіді створюється кожен раз окремий процес. Це дозволяє пришвидшити роботу, а користувачам не заважати один одному. Цільовою функцією такого процесу є `respond`. Довжина вхідних повідомлень штучно обмежена 30 словами для перешкодження надсиланню наддовгих повідомлень, що здатні вивести з ладу систему. При отриманні довшого повідомлення буде повернено швидку відповідь «Your message is too long. Try to use less than 30 words in your query.» («Ваше повідомлення занадто довге. Намагайтеся використовувати менш ніж 30 слів у вашому запиті.»). У разі отримання порожнього повідомлення функція `respond` не виконає дій. Якщо текст, що надійшов, відповідає зазначеним первинним критеріям довжини, то відбувається отримання відповіді на надісланий запит з використанням об'єкту класу `Responder`. Якщо отримана відповідь не є змістовною – результати відсутні – то автоматично повертається повідомлення: «Sorry, but I haven't understood your message. It was either not in English or far from the scope. The scope of the bot is Rehabilitation Medicine and it can understand English only.». При наявності не пустих результатів запитів відбувається рекурсивний виклик вкладеної функції `unfold_response`, яка перетворює отриману деревоподібну JSON структуру на текстове повідомлення у форматі прийнятному для відображення у телеграм-чаті. Таке «розгортання» відбувається окремо для кожної з визначених у повідомленні користувача спеціальної категорії з певними вхідними параметрами. При наявності у відповіді переліків ста-

тей, вони перетворюються на HTML-посилання на відповідні статті, що зберігаються у окремому сховищі. Якщо порожньою є відповідь з якоїсь окремої спеціальної семантичної категорії, то повертається відповідь «Sorry, but I don't know about» + перелік понять – параметрів даного запиту. Якщо список параметрів порожній, то відповідь в такому разі буде «Unfortunately, I don't have any relevant information on this question.» («Нажаль, я не маю релевантної інформації з цього питання.»). Якщо не визначено ані семантичної категорії, ані параметрів запиту, відповідь буде «No answer, nothing to display.» («Немає відповіді, нічого відображати»). Якщо відповідь є змістовною, то вона відправляється переведеною до відповідного формату на відображення у телеграм-чаті користувача за ідентифікатором чату.

Якщо відповідь перевищує ліміт символів для повідомлення у Telegram, вона розбивається на декілька повідомлень. Для уникнення блокування чату через велику кількість повідомлень надісланих через малий часовий інтервал, після 50 повідомлень поспіль робиться пауза на 15 секунд. При цьому відображається додаткове повідомлення «Too much information to provide, please wait for about 15 seconds... ...or, if you would like to stop the inference, press the button «STOP» below.». Разом з цим у чаті з'являється і кнопка «STOP» для припинення подальшого потоку повідомлень. Обробка події, натискання цієї кнопки здійснюється за допомогою функції зворотного виклику `handle_query(call)`. Зупинити подальший потік повідомлень під час паузи також можна введенням у чат кодових слів «stop», «enough» або «halt» (регістр символів не має значення). Після закінчення відповіді, яка була класифікована як занадто довга, буде повернено також додаткове повідомлення «Your question is quite spacious. Try to specify if it is possible.» («Ваше питання доволі широке. Спробуйте конкретизувати його, якщо це можливо»).

Процеси обробки повідомлень, що закінчилися, видаляються з пулу процесів за рахунок періодично виконуваної функції «збирання сміття» `clean_pool`, що працює у окремому паралельному потоці. Періодичність виконання перевірки на наявність завершених процесів становить 20 секунд.

4.2.6 Прикладний програмний інтерфейс API системи MedRehabBot

Окрім діалогового інтерфейсу користувача у системі MedRehabBot передбачено також програмний інтерфейс API (програмна платформа MedRehabBot). Його реалізовано у модулі *api.py*, який запускається окремо від *webhook.py*, але використовує ті ж основні модулі даної системи. Для реалізації обробки POST-запитів, за якими працює API, використано фреймворк Flask, штатний сервер якого замінено на gunicorn при розгортанні застосунку на сервері.

POST-запит наразі надсилається на точку доступу:

`/medlocalgpt/api/v1/ask`

Хедери POST запиту:

```
{"Content-Type": "application/json"}
```

Дані тіла запиту передаються у форматі JSON. Допустимі дві форми JSON структури, що передається:

а) Передача текстового повідомлення (prompt) для аналізу та отримання відповіді:

```
{
    "password": "пароль",
    "text": "текстове повідомлення англійською мовою до 30 слів"
}
```

б) Передача типу запиту та його параметрів:

```
{
    "password": "пароль",
    "query_type": "назва спеціальної семантичної категорії (типу) запиту",
    "parameters": [список параметрів, що передаються: слова англійської мови в початковій формі (іменники, прикметники, не допоміжні та не модельні дієслова)]
}
```

У разі неправильної вказівки пароля або його не вказівки буде повернено повідомлення:

```
{
    "error": "wrong password",
    "message": "access denied"
}
```

Якщо в процесі обробки повідомлення виникла помилка, буде отримане повідомлення:

```
{
    "error": "повідомлення про тип помилки",
    "message": "an error occurred during the message handling"
}
```

На даний момент допустимі такі значення для параметру «*query_type*»:

- «contexts» – пошук прив’язки переданих понять до контекстів статей;
- «icd 10» – коди icd-10 для області, що характеризується цим набором понять;
- «icd 9» – коди icd-9 для області, що характеризується цим набором понять;
- «cpt» – СРТ коди для області, що характеризується цим набором понять;
- «hcpcs» – HCPCS коди для області, що характеризується цим набором понять;
- «g-code» – G-коди для області, що характеризується цим набором понять;
- «any_icd» – icd коди будь-якого типу для області, що характеризується цим набором понять;
- «any_code» – будь-які коди будь-якого типу для області, що характеризується цим набором понять;
- «certain g-code» – до якої області відноситься і що означає наданий G-код;
- «certain hcpcs» – до якої області відноситься і що означає HCPCS код;
- «certain icd 10» – до якої області відноситься і що означає icd-10 код;
- «certain icd 9» – до якої області відноситься і що означає icd-9 код;
- «symptoms» – опис симптомів для області, що характеризується цим набором понять;
- «test» – інформація про тести для області, що характеризується цим набором понять;
- «reimbursement» – інформація про компенсацію для області, що характеризується цим набором понять;
- «patient education» – інформація про навчання пацієнта для галузі, що характеризується цим набором понять;
- «description» – видати опис області, що характеризується цим набором понять;

- «synonyms» – повернути альтернативні назви для області, що характеризується цим набором понять;
- «contraindications precautions» – інформація про протипоказання;
- «diagnosis need for treatment» – діагнози, необхідні для лікування;
- «prognosis» – інформація про прогноз у зазначеному випадку;
- «treatment summary» – інформація про перебіг лікування;
- «rule out» – що виключити;
- «causes» – причини;
- «risk factors» – фактори ризику;
- «pathogenesis» – патогенез.

Для типів «*certain g-code*», «*certain hcpcs*», «*certain icd 10*» і «*certain icd 9*» при передачі в поле «*parameters*» більше одного значення буде сформовано набір запитів з одного для кожного значення і, відповідно, з кожного буде повернено відповіді в межах одного зазначеного типу. Для інших типів буде сформовано один запит, до якого будуть підставлені всі передані значення параметрів зі списку. Формат результату – JSON має наступний вигляд:

```
{ "тип запиту":
  [ { "response": {
    "Поле, що виводиться": [ {
      "value": "отримане значення або \"values\" – список значень ",
      "verbose": "заголовок типу поля, що виводиться",
      "id": "ідентифікатор - число",
      "вкладене поле": [ {
        "value": "отримане значення",
        "rel": "значення для поля верхнього рівня",
        "rel_field": "найменування поля верхнього рівня",
        "verbose": "заголовок типу поля, що виводиться",
        "id": "ідентифікатор - число",
        "parent": "поле верхнього рівня для rel_field, за наявності",
        "вкладене поле": [ список структур даних аналогічного формату, можливий
        будь-який ступінь вкладеності ] }
      ] }
    ] }
  ] }
  "input": [список вхідних параметрів],
  "too_long": true/false – виявився список виведених значень занадто довгим
}] }
```

Нижче наведено приклад відповідей, що отримані за запитом:

```
{
  "password": "",
  "query_type": "certain", "icd": "9",
  "parameters": ["289.0", "H83.3X2"]
}
```

отримано у відповідь:

```
{
  "certain icd 9":[
    {
      "response":{
        "code_descr":[
          {
            "value":"Secondary polycythemia (acquired)",
            "verbose":"-", "id":1,
            "article_name":[
              {
                "values":[
                  "Acquired Polycythemia and Exercise"
                ],
                "rel":"Secondary polycythemia (acquired)", "rel_field":"code_descr", "verbose":"Related articles:",
                "id":2,
                "parent":""
              }
            ]
          }
        ],
        "input":"289.0",
        "too_long":false
      },
      {
        "response":{
          "code_descr":[
            {
              "value":"noise effects on left inner ear",
              "verbose":"-",
              "id":1,
              "article_name":[
                {
                  "values":[
                    "Acoustic Trauma",
                    "Hearing Loss, Noise-Induced"
                  ],
                  "rel":"noise effects on left inner ear", "rel_field":"code_descr", "verbose":"Related articles:", "id":2,
                  "parent":""
                }
              ]
            }
          ],
          "input":"H83.3X2", "too_long":false
        }
      ]
    }
  ]
}
```


При надсиланні тексту у якості вхідного параметру типи або набір типів запитів визначаються автоматично. Залежно від типу запиту будуть наступні поля у даних, що повертаються з наступними характеристиками вкладеності:

«contexts»:

«score»: верхній рівень – область знань

«topic»: – групується у вигляді списків за відповідним «score» – розділом у статті, де зустрічаються передані поняття

«article_name»: групується у вигляді списків за відповідним «score» – списком статей (посилань)

«icd 10», «icd 9», «cpt», «hpcs», «any_icd»:

«code»: верхній рівень – сам код,

«description»: йде для кожного «code» – пояснення до коду;

«article_name»: групується у вигляді списків за відповідним «code» – списком статей (посилань)

«any_code»:

«code_type»: верхній рівень – тип коду,

«code»: йде для кожного «code_type» - сам код;

«description»: йде для кожного «code» – пояснення до коду;

«article_name»: групується у вигляді списків за відповідним «code» – списком статей (посилань)

«g-code»:

«set»: верхній рівень – група G-кодів;

«code»: йде для кожного «set» – сам код;

«description»: йде для кожного «code» – пояснення до коду;

«article_name»: групується у вигляді списків за відповідним «set» – списком статей (посилань)

«certain cpt»:

«code»: верхній рівень – сам код;

«code_descr»: йде для кожного code – пояснення до коду;

«article_name»: групується у вигляді списків за відповідним «code» – списком статей (посилань)

«certain g-code»:

«code_type»: верхній рівень – група G-кодів;

«code_descr»: йде для кожного code_type - пояснення до коду;

«article_name»: групується у вигляді списків за відповідним «code_type» – списком статей (посилань) «certain hcpcs»,

«certain icd 10», «certain icd 9»:

«code_descr»: верхній рівень – пояснення до коду;

«article_name»: групується у вигляді списків за відповідним «code_descr» – списком статей (посилань) «symptoms»,

«test», «reimbursement», «indicatons», «patient education», «description», «contraindications precautions», «diagnosis need for treatment», «prognosis», «relations», «treatment summary», «rule out», «causes», «risk factors», «pathogenesis»:

«score»: верхній рівень – область знань

«topic»: йде кожному за «score» – розділом у статті, де зустрічаються передані поняття;

«context_text»: йде для кожного «topic» - тексту даного контексту

«article_name»: групується у вигляді списків за відповідним «score» – списком статей (посилань)

«synonyms»:

«score»: верхній рівень – область знань

«context_text»: йде для кожного «score» – тексту цього контексту

Програмний інтерфейс API системи MedRehabBot може бути корисний при інтеграції його у іншу довідкову систему, інтерфейс якої побудовано на меню та формах.

4.3 Висновки до розділу

1. Створено спеціалізований набір документів (датасет) з тематики ФРМ – EBSCO articles dataset (domain knowledge: rehabilitation medicine) + JSON [8];

2. Розроблено програмну утиліту, що перетворює набір PDF файлів із зазначеною структурою на OWL-опис онтологічної графової структури даних у форматі RDF/XML. Створення онтології відбувається у два етапи: представлення вхідних файлів у вигляді JSON-структур даних зазначеного змісту; перетворення отриманого набору JSON-файлів на OWL-онтологію, або на набір OWL-онтологій. Отримані файли цілком відповідають стандарту і можуть бути завантажені для роботи з ними у графову СУБД, наприклад, Apache Jena Fuseki або Neo4J.

3. Створено природномовну інтерактивну інформаційну-довідкову систему (та платформу з API) MedRehabBot [1-4], що працює з базою знань онтологічного типу. Інтерфейс користувача системи представлено у вигляді Телеграм-боту. Бот працює з англійською мовою і може відповідати на питання пов'язані із індексацією хвороб, описом їх симптомів, підходів до лікування, тощо. Створена система має також програмний інтерфейс API, що відповідає на надіслані POST-запити із даними JSON-формату встановленої структури. API може працювати у двох варіантах: надання відповіді на текстові дані, аналогічні таким, що надходять с чату телеграм-боту; надання відповіді на запит встановленого типу із зазначеними параметрами. У якості відповіді API надсилає POST-запит із вкладеною деревоподібною JSON-структурою відповіді. Така структура після певної програмної обробки може бути представлена у графічному інтерфейсі користувача незалежно від працюючого застосунку (web-сторінки, десктопного чи мобільного додатку).

У якості допоміжних компонентів для системи MedRehabBot були також розроблені та удосконалені:

- програмна утиліта для перетворення зазначеного набору файлів на графову базу знань онтологічного типу, з якою працює діалогова система;
- вебсервіс KEn [9] – мережевий інструментарій (та платформа з API) для контекстного та семантичного аналізу з функцією побудови таксономії документів;
- вебсервіс UkrVectōrēs [10] – інструмент (та платформа з API) для пошуку, класифікації і прогнозування знань на основі технологій розуміння природної мови, дистрибутивного та семантичного аналізу природномовних текстів;
- набір десктопних сервісів, який дозволяє в напіваавтоматичну та повністю автоматичну режимі генерацію OWL-онтології (входить до репозиторію [2]) з природномовного тексту;
- мережевий сервіс аналізу природномовних фраз [3, 11] – спеціалізований вебсервіс, що дозволяє будувати семантичні дерева для фраз.

4.4 Доступ до даних

Дані, що підтверджують отримані в цьому дослідженні результати, вільно доступні за наступними посиланнями:

1. Датасет «EBSCO articles dataset (domain knowledge: rehabilitation medicine) + JSON of every article» доступний на платформі Zenodo за посиланням [8].
2. Програмна реалізація системи MedRehabBot (у вигляді застосунку для Телеграм, а саме Телеграм-боту та програмної платформи з API), програмна утиліта для перетворення файлів із зазначеного датасету на графову базу знань онтологічного типу мета-онтологія, онтологія контекстів, SPARQL-запити до метаонтології, тестові запитання та результати доступні в репозиторії GitHub [2].
3. Мережевий інструментарій (та платформа з API) для контекстного та семантичного аналізу з функцією побудови таксономії документів – вебсервіс KEn доступний в репозиторії GitHub [9].

4. Інструмент (та платформа з API) для пошуку, класифікації і прогнозування знань на основі технологій розуміння природної мови, дистрибутивного та семантичного аналізу природномовних текстів – вебсервіс UkrVectōrēs доступний в репозиторії GitHub [10].

5. Набір десктопних сервісів, який дозволяє в напівавтоматичну та повністю автоматичну режимі, генерацію OWL онтології (входить до репозиторію GitHub [2]) з природномовного тексту.

6. Мережевий сервіс аналізу природномовних фраз онтології (входить до репозиторію GitHub [9]) – спеціалізований вебсервіс, що дозволяє будувати семантичні дерева для фраз.

Список використаної літератури розділу 4

1. Palagin O., Kaverinskiy V., Litvin A., Malakhov K. OntoChatGPT Information System : Ontology-Driven Structured Prompts for ChatGPT Meta-Learning. *International journal of computing*. 2023. 22 (2). P. 170-183. DOI: <https://doi.org/10.47839/ijc.22.2.3086>.

2. Kaverinsky V. V., Malakhov K. S. MedRehabBot. URL: <https://github.com/knowledge-ukraine/MedRehabBot> (дата звернення: 06.11.2023).

3. Litvin A., Palagin O., Kaverinsky V., Malakhov K. Ontology-driven development of dialogue systems. *South African Computer Journal*. 2023. 35 (1). P. 37-62. DOI: <https://doi.org/10.18489/sacj.v35i1.1233>.

4. Palagin O. V., Kaverynskyi V. V., Petrenko M. G., Malakhov K. S. Digital Health Systems : Ontology-Based Universal Dialog Service for Hybrid E-Rehabilitation Activities Support. *Presented at the 12th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems : Technology and Applications*, Dortmund, Germany September 7 2023.

5. Malakhov K. S. Letter to the Editor – Update from Ukraine : Development of the Cloud-based Platform for Patient-centered Telerehabilitation of Oncology Patients with Mathematical-related Modeling. *International Journal of Telerehabilitation*. 2023. 15 (1). P. 1-3. DOI: <https://doi.org/10.5195/ijt.2023.6562>.

6. Malakhov K. S. Letter to the Editor – Update from Ukraine : Rehabilitation and Research. *International Journal of Telerehabilitation*. 2023. 14 (2). P. 1-2. DOI: <https://doi.org/10.5195/ijt.2022.6535>.
7. Palagin O. V., Malakhov K. S., Velychko V. Yu., Semykopna T. V. Hybrid e-rehabilitation services: SMART-system for remote support of rehabilitation activities and services. *International Journal of Telerehabilitation*. Special Issue : Research Status Report – Ukraine. 2022. P. 1-16 DOI: <https://doi.org/10.5195/ijt.2022.6480>.
8. Malakhov K., Vakulenko D., Kaverinsky V. EBSCO articles dataset (domain knowledge: rehabilitation medicine) + JSON of every article. URL: <https://zenodo.org/record/8308214> (дата звернення: 06.11.2023). DOI: <https://doi.org/10.5281/ZENODO.8308214>.
9. Malakhov K. S., Velychko V. Yu., Kaverynskyi V. V. KEn. URL: <https://github.com/malakhovks/ken> (дата звернення: 06.11.2023).
10. Malakhov K. S., Shchurov O. S., Velychko V. Yu. UkrVectōrēs. URL: <https://github.com/malakhovks/docsim> (дата звернення: 06.11.2023).
11. Litvin A.A., Velychko V.Yu., Kaverynskyi V.V. Tree-based semantic analysis method for natural language phrase to formal query conversion. *Radio Electronics, Computer Science, Control*. 2021. 57 (2). P. 105-113. DOI: <https://doi.org/10.15588/1607-3274-2021-2-11>.
12. Palagin O., Velychko V., Malakhov K., Shchurov O. Research and Development Workstation Environment: the new class of Current Research Information Systems. *UkrPROG 2018* : Proceedings of the 11th International Conference of Programming UkrPROG 2018, Kyiv, Ukraine, May 22-24, 2018. Vol-2139 of CEUR Workshop Proceedings. CEUR-WS.org, 2018. P. 255-269. URL: <http://ceur-ws.org/Vol-2139/255-269.pdf> (дата звернення: 06.11.2023).
13. Petrie C. J. Formalization of Web Service Composition. *Web Service Composition*. Springer International Publishing, Cham, 2016. P. 41-53. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-32833-1_3.

14. Bhowmik S. Cloud computing. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom 2017. 407 p.
15. Biomedical Informatics Research Group : *WebProtégé*. URL: <https://webprotege.stanford.edu/> (дата звернення: 06.11.2023).
16. Apache Jena Fuseki. *Apache Jena*. URL: <https://jena.apache.org/documentation/fuseki2/> (дата звернення: 06.11.2023).
17. New Information Technologies, Simulation and Automation : monograph / Velychko V. et. al. Iowa State University Digital Press, 2022. 729 p. DOI: <https://doi.org/10.31274/isudp.2022.121>.
18. Chaikovsky I., Dykhanovskyi V., Malakhov K., Bocharov M. Military Medicine: Methods of Control, Improvement in Individual Combat Readiness and Telerehabilitation of Military Personnel. Iowa State University Digital Press, 2023. 151 p. DOI: <https://doi.org/10.31274/isudp.2023.128>.

5 МЕТОДИ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЇ В ГАЛУЗІ ТЕЛЕРЕАБІЛІТАЦІЇ

Онкологічні захворювання є серйозною медичною проблемою по всьому світу. Лікування раку часто включає в себе комплексні та тривалі процедури, такі як хіміотерапія та операції, які можуть сильно вплинути на фізичне та психологічне здоров'я пацієнтів. Відповідно, реабілітація онкологічних хворих – складний, багатоетапний і багатофакторний процес, який потребує індивідуального підходу та постійного моніторингу. Процес реабілітації включає в себе циклічне просування через етапи реабілітації, де як реабілітаційна команда, так і пацієнт співпрацюють, щоб встановити цілі реабілітації для кожного етапу та визначити результати.

На якість реабілітації значною мірою впливає наявність індивідуального підходу, який залежить від здатності адаптувати підхід до процесу реабілітації з урахуванням специфіки пацієнта та контекстуальних факторів [1]. Застосування методів аналізу даних і штучного інтелекту дає змогу автоматизувати профілювання пацієнтів для визначення їхніх характеристик і потреб [2]. Інтеграція індивідуального підходу сприяє оптимізації обмежених ресурсів і медичних закладів. Значною перевагою такого підходу є можливість використання прогнозних моделей при розробці реабілітаційних програм. Реабілітаційні команди стикаються з численними труднощами в пошуку балансу між реабілітаційними методами та інструментами [3]. Використання прогнозних моделей дозволяє оцінити очікувану тривалість реабілітації, полегшити планування ресурсів (включаючи пристосування до циклів інших пацієнтів), передбачити потенційні ускладнення та врахувати додаткові фактори.

Ще однією перевагою використання прогнозних моделей є можливість контролювати процес реабілітації шляхом порівняння прогнозованих та реальних значень. Це дозволяє своєчасно коригувати реабілітаційну програму [1]. Використання прогнозних моделей у поєднанні зі SMART-системою дистанційної підтримки реабілітаційних заходів і послуг [4] відкриває нові можливості

для пошуку оптимальних стратегій поведінки як для пацієнтів, так і для закладів охорони здоров'я.

5.1 Математичне моделювання процесу реабілітації

Телереабілітація стала важливим напрямком в онкологічному лікуванні, оскільки вона дозволяє пацієнтам отримувати підтримку та реабілітаційні послуги вдома або вдало поєднувати їх із стаціонарним лікуванням. Математичне моделювання та оптимізація грають важливу роль в розвитку та вдосконаленні телереабілітації онкохворих.

Еволюція процесу реабілітації передбачає ряд етапів, спрямованих на відновлення фізичного та психологічного стану пацієнта після активної фази лікування раку. Цей процес враховує індивідуальні вимоги, потенційні ускладнення та поступові цілі, адаптовані до кожного пацієнта. В останні роки завдяки науковим дослідженням, клінічній експертизі та обміну знаннями стала можливою розробка більш персоналізованих процесів реабілітації для кожного пацієнта. Цей прогрес помітно прискорює досягнення цілей реабілітації, зменшує побічні ефекти лікування та покращує якість життя пацієнтів. Розвиток медичної науки відображає дедалі більше визнання необхідності комплексного підходу до лікування [5]. Це передбачає розгляд пацієнта як цілісної системи під час формулювання програми реабілітації, враховуючи його фізичні, психологічні, соціальні та духовні виміри здоров'я та благополуччя. Ця перспектива підкреслює важливість усвідомлення пацієнта як окремої особистості з власними потребами та принципами, а також взаємодію цих факторів у визначенні діагнозу та лікуванні. Основна ідея, яка лежить в основі цілісного підходу, полягає в тому, що цілісність перевершує підсумок її складових, тобто виникає синергетичний ефект, а розуміння контексту та взаємодії між цими елементами може запропонувати більш глибоке розуміння сутності та обставин. Запровадження цілісного підходу дає змогу розробити ефективні математичні моделі для моделювання реабілітаційного процесу. Використання математичних моделей забезпечує по-

глиблене розуміння складних процесів реабілітації, допомагає виявити причинно-наслідкові зв'язки, які не є очевидними, а також сприяє покращенню рішень і стратегій реабілітації.

Використання інформаційних технологій, включаючи зростаючу популярність електронних систем медичних записів [6] і систему семантичної обробки наукових цифрових бібліотек [7], разом із математичними моделями дозволяє накопичувати досвід і знання. Це, у свою чергу, сприяє вдосконаленню методів і підходів до відновлення здоров'я, запровадженню нових стратегій і технологій реабілітації та оптимізації використання медичних ресурсів.

Математичне моделювання відіграє важливу роль в розробці та впровадженні програм телереабілітації для онкохворих пацієнтів. Використання результатів математичного моделювання та аналізу дозволяє науковцям та лікарям розробляти ефективні індивідуалізовані плани реабілітації, враховуючи специфічні потреби кожного пацієнта. Всі заплановані задачі в межах проєкту орієнтовані на: прогнозування поточного та загального стану пацієнтів; стратегії втручання в процес реабілітації, кластеризації онкохворих, розподілу фінансів на лікування (на державному та інших рівнях) тощо. Розробка математичної моделі реабілітаційного процесу як узагальненої системи потребує комплексного підходу, що базується на методології системної динаміки. Використання концепцій системної динаміки дозволяє розглядати тимчасові зміни та вплив змінних на динаміку системи завдяки наявності зворотного зв'язку.

Математичне моделювання системи передбачає поєднання моделювання фізіологічного процесу, статистичного аналізу та машинного навчання. Побудова математичних моделей, які охоплюють фізіологічні аспекти реабілітації, дає уявлення про взаємодію різноманітних систем організму та дозволяє формувати індивідуальні стратегії лікування. Включення статистичних методів допомагає розпізнавати закономірності в процесі реабілітації, оцінювати ефективність різноманітних методів і прогнозувати результати для різних когорт онкологічних пацієнтів. Удосконалення алгоритмів машинного навчання полег-

шує прогнозування майбутнього стану пацієнта, запобігає виникненню можливих ускладнень, надає рекомендації для оптимізації процесу реабілітації.

Методи математичного моделювання, використані в проєкті, присвяченому розробці гібридної хмарної платформи та створенню на її основі інформаційної технології телереабілітації онкологічних хворих, що обслуговує широке коло спеціалістів з фізичної реабілітаційної медицини (ФРМ) в секторі «Телереабілітація онкологічних хворих», спрямовані на поєднання алгоритмів штучного інтелекту з точними математичними методами оптимізації для складних задач, пов'язаних з оцінкою поточного стану пацієнта, стратегією втручання в процесі телереабілітації, розподілу фінансів на лікування.

Побудова математичних моделей передбачає розв'язання задач дискретної оптимізації за допомогою методу глобального рівноважного пошуку, методу вектору спаду та інших методів локального пошуку та задач негладкої оптимізації за допомогою субградієнтних алгоритмів з перетворенням простору (r-алгоритми для мінімізації негладких функцій з десятками тисяч змінних та методи еліпсоїдів для задач опуклого програмування та задач пошуку сідлових точок опукло-увігнутих функцій з десятками змінних).

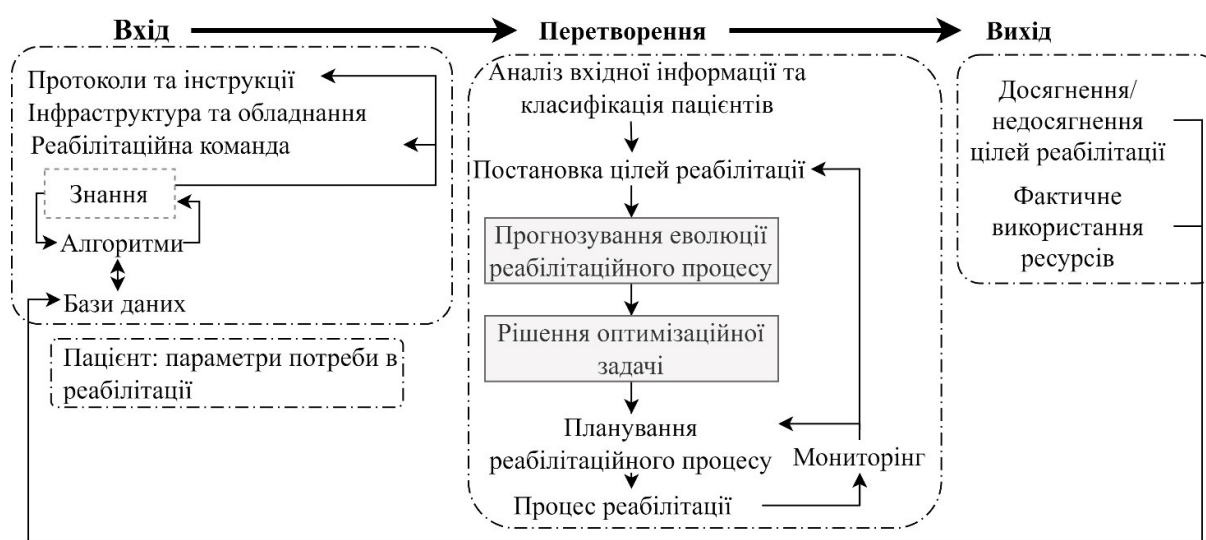


Рисунок 5.1 – Узагальнена модель життєвого циклу реабілітаційного процесу

На рисунку 5.1 представлена узагальнена модель життєвого циклу процесу реабілітації, що запропонована для впровадження в реабілітаційних центрах онкологічних хворих.

Функціонування системної моделі передбачає поступовий перехід від фази «Вхід», що охоплює всі елементи, які існують на початку процесу реабілітації: пацієнт, інструкції, протоколи, доступна інформація, реабілітаційна команда, медична інфраструктура, накопичені дані та алгоритми обробки даних; до фази «Вихід» – результат реабілітації та фактичне використання ресурсів. Перехід від «Входу» до «Виходу» здійснюється за допомогою фази «Трансформація». «Трансформація» характеризується своєю ітеративною природою, а ефективність процесів планування та виконання впливають на досягнення цілей реабілітації. Для підвищення якості «Трансформації» рекомендується об'єднати експертні знання, досвід реабілітаційної бригади та можливості комп'ютерних алгоритмів обробляти накопичені дані.

Враховуючи, що результат на фазі «Вихід» повинен відповідати двом критеріям, цільову функцію системи можна зобразити як багатокритеріальну задачу оптимізації:

$$\begin{cases} f(y_{(1)}) \rightarrow \max, \\ f(y_{(2)}) \rightarrow \min \end{cases} \quad (5.1)$$

за обмеженнями

$$g_i(Z) = \sum_{j=1}^m a_{ij} \cdot Z_j \leq b_i, i = \overline{1, n}, \quad (5.2)$$

$$Z_j \geq 0, j = \overline{1, m}, \quad (5.3)$$

де $y_{(1)}$ – функція досягнення цілей реабілітації; $y_{(2)}$ – функція використання ресурсів $[x_1^{(1)}, x_2^{(1)}, \dots, x_k^{(1)}]$; Z_j – довільна функція предикторних змінних $[x_1^{(2)}, x_2^{(2)}, \dots, x_k^{(2)}]$; a_{ij} – вектори нечітких параметрів; b_i – обмеження.

Якщо припустити, що функції $y_{(1)}$ і $y_{(2)}$ можна представити за допомогою лінійних рівнянь, то:

$$y_{(n)} = \beta_0 + \sum_{j=1}^m \beta_j \cdot Z_j + \varepsilon, \quad (5.4)$$

де β_0 – константа лінійної регресії; ε – випадкова помилка моделі.

Аналізуючи рівняння (5.1)-(5.3), стає очевидним, що між двома сторонами – учасниками реабілітаційного процесу, виникає конфлікт інтересів: пацієнт прагне максимізувати результат реабілітаційного процесу, а реабілітаційна команда, яка представляє медичний заклад, прагне економити ресурси. Це не означає, що реабілітаційній команді бракує відданості досягненню цілей реабілітації. Натомість їм доручено обслуговувати численних пацієнтів і вони повинні досягти балансу у розподілі ресурсів, щоб задовольнити всі вимоги. Використання математичного моделювання дозволяє знизити негативний вплив цього фактору.

Якщо спостерігати з боку пацієнта, то процес взаємодії можна проілюструвати у вигляді гри:

$$\Gamma = \langle E, S, U \rangle, \quad (5.5)$$

де $E = \{E^p \cup E^R\}$ – сукупність учасників реабілітаційного процесу, E^p – пацієнт, E^R – реабілітаційна бригада; $S = \{S_E\}$ – стратегії поведінки учасників реабілітаційного процесу; $U = \{U_E\}$ – функція виграшу учасника в задачі (5.1)-(5.3).

Якщо дивитися з точки зору реабілітаційної команди, то гра (5.5) залишається без змін, але кількість учасників буде значно більшою, $E = \{E^R \cup E^{p_1} \cup E^{p_2} \cup \dots \cup E^{p_n}\}$.

Таким чином, припускаючи, що учасники процесу реабілітації прагнуть досягнути оптимального варіанту вирішення проблеми (5.1)-(5.3) шляхом вибору оптимальної стратегії поведінки $S_E^{opt} = \{S_E \in S \mid S_E^1 \cap S_E^2 \cap \dots \cap S_E^k\} = \emptyset$ та умов:

$$\nexists (S_{E^P}, S_{E^R}) : \begin{cases} U_P(S_{E^P}, S_{E^R}) \geq U_P(S_{E^P}^{opt}, S_{E^R}^{opt}), \\ U_R(S_{E^P}, S_{E^R}) > U_R(S_{E^P}^{opt}, S_{E^R}^{opt}), \end{cases} \quad (5.6)$$

або

$$\nexists (S_{E^P}, S_{E^R}) : \begin{cases} U_P(S_{E^P}, S_{E^R}) > U_P(S_{E^P}^{opt}, S_{E^R}^{opt}), \\ U_R(S_{E^P}, S_{E^R}) \geq U_R(S_{E^P}^{opt}, S_{E^R}^{opt}), \end{cases} \quad (5.7)$$

та

$$U_P \cong \frac{\sum_{i=1}^n U_{P_i}}{n}, \quad (5.8)$$

де n – кількість пацієнтів, які проходять реабілітацію у певної бригади реабілітологів.

Відповідно до (5.1)-(5.3) і (5.6)-(5.8) очевидно, що використання математичних моделей має можливість спростити роботу системи (рис. 5.1). Останнім часом моделі на основі даних, які часто називають моделями «чорної скриньки», набули популярності. Однак використання цих моделей має кілька недоліків, зокрема: обмежене розуміння користувачем роботи моделі, нездатність користувача вплинути на її функціонування чи обмежена здатність користувачем обґрунтувати певні результати. Все це потенційно обмежує здатність персоналізувати чи покращити систему реабілітації.

Оптимальним рішенням є розробка програмного забезпечення для підтримки прийняття рішень із використанням алгоритму прогнозного керування моделлю [8]. Цей підхід дає змогу вирішувати недоліки алгоритмів [9], зменшувати рівень помилок [10] і зменшувати вимогу до обмежень, пов'язаних з моделями «чорної скриньки». Алгоритм Model Predictive Control об'єднує системний аналіз, алгоритми оптимізації, машинне навчання – потужну техніку для досліджень у сфері охорони здоров'я – та досвід людини (експерта).

Основні методи математичного моделювання та оптимізації, які використані в проєкті створення гібридної хмарної платформи:

- *методи машинного навчання* дозволяють аналізувати дані про стан

пацієнта та на підставі цього розробляти індивідуальні програми реабілітації;

- *методи оптимізації* дозволяють знайти найефективніше розв’язання задачі, наприклад завдання розробки програми реабілітації, яке буде максимально ефективним за заданих обмежень;

- *методи статистики та регресії* дозволяють аналізувати дані про стан пацієнта і на підставі цього робити прогнози щодо його подальшого розвитку.

Основні вимоги до методів математичного моделювання та оптимізації в галузі телереабілітації онкохворих, якими керувалися в процесі розробки продукту проєкту:

- *точність* – важливий параметр, оскільки вона визначає, наскільки добре математична модель або оптимізаційний метод відображають реальний стан пацієнта, його потреби та реакцію на реабілітаційні заходи;

- *ефективність*: математична модель програми реабілітації повинна надати інформацію для підвищення ефективності, тобто сприяти досягненню поставлених цілей в умовах обмежених ресурсів;

- *доступність*: математична модель повинна відображати програму реабілітації, що буде доступною та реалістичною для пацієнтів, які не можуть самостійно відвідувати реабілітаційні центри;

- *простота використання*: математична модель повинна бути простою в використанні та інтерпретації для користувачів-аналітиків та реабілітологів.

Процес математичного моделювання телереабілітації включє в себе наступні основні завдання:

- *прогнозування результатів*: моделі дозволяють науковцям та лікарям прогнозувати, яким чином буде розвиватися стан пацієнта під час лікування та реабілітації, що допомагає визначити оптимальні стратегії лікування та підтримки;

- *оптимізація ресурсів*: математичні моделі допомагають оптимізувати розподіл ресурсів для надання реабілітаційних послуг, що є актуальним та

важливим, оскільки ресурси, такі як медичний персонал та обладнання, обмежені, і їх необхідно раціонально використовувати;

- *індивідуалізація підходів*: математичні моделі допомагають створювати індивідуалізовані плани реабілітації, враховуючи характеристики конкретного пацієнта, що допомагає досягти кращих результатів та зменшити ризик ускладнень;

- *моніторинг та аналіз*: математичні моделі надають можливість вести моніторинг за станом пацієнтів та ефективністю реабілітаційних заходів. Інформація, отримана з моніторингу, дозволяє вчасно вносити корективи у плани реабілітації та підтримувати стан пацієнтів на оптимальному рівні.

Розробка та застосування математичних моделей в галузі телереабілітації онкохворих вимагає дотримання певних технічних вимог. Основні з них включають:

- *збір та аналіз даних*: для побудови математичних моделей потрібно збирати актуальні та повні дані про стан пацієнтів, характеристики лікування та реабілітаційних заходів: клінічні дані, результати обстежень, біометричні показники та іншу інформацію, – а технічні системи повинні бути здатні до збору, зберігання та аналізу цих даних;

- *інтеграція з медичним обладнанням*: деякі математичні моделі вимагають інтеграції з медичним обладнанням, яке сумісне з системою телереабілітації та вимірює фізіологічні показники пацієнта: пульс, тиск, температуру, психофізичний стан, тощо;

- *забезпечення конфіденційності та безпеки даних*: з огляду на конфіденційний характер медичної інформації, математичні моделі повинні використовувати анонімні дані, а гібридна хмарна платформа забезпечувати високий рівень безпеки та захисту даних за допомогою шифрування даних, аутентифікації пацієнтів та користувачів, обмеження доступу до конфіденційної інформації;

- *розвиток інтерфейсів*: технічні системи телереабілітації, що вико-

ристовують математичні моделі, повинні мати інтуїтивні інтерфейси для пацієнтів та медичного персоналу та не створювати додаткові вимоги до компетенцій користувачів, що сприяє легкому користуванню та сприйняттю системи, і є важливим для ефективної реабілітації.

Оптимізація процесу телереабілітації онкохворих є важливою складовою покращення процесу лікування, реабілітації та підтримки пацієнтів. Математичне моделювання є великим внеском в цей процес. Оптимізація включає в себе наступні аспекти:

- *планування реабілітаційних заходів*: математичні моделі допомагають визначити оптимальний розклад реабілітаційних занять та вправ для кожного пацієнта, враховуючи фізичні можливості та потреби пацієнта, такі моделі допомагають визначати індивідуалізовані плани;
- *моніторинг стану пацієнтів*: математичні моделі дозволяють вести постійний моніторинг за станом пацієнтів, їхніми реакціями на реабілітаційні заходи та ефективністю лікування, що допомагає вчасно виявляти будь-які зміни та дозволяє корегувати плани реабілітації відповідно до потреб пацієнта;
- *прогнозування результатів*: математичні моделі допомагають прогнозувати результати лікування та реабілітації, що є важливим для визначення шляхів подальшого вдосконалення програм реабілітації та підвищення ефективності лікування;
- *оптимізація витрат*: математичні моделі надають інформацію щодо шляхів вдосконалення процесів та оптимізації витрат на телереабілітацію за допомогою раціонального розподілу ресурсів та зменшення додаткових або непотрібних витрат на реабілітацію;
- *підвищення якості послуг*: оптимізація допомагає підвищувати якість телереабілітації, забезпечуючи пацієнтам індивідуалізований підхід та оптимальні умови для відновлення;
- *підтримка прийняття рішень*: математичні моделі надають інформацію для прийняття рішень медичному персоналу та пацієнтам для обрання оптимальних стратегій реабілітації та лікування.

Отже, достовірність концептуальної математичної моделі ґрунтується на впевненості в тому, що:

- теорії та висновки, які використовуються для побудови концептуальної моделі, є точними;
- склад моделі, її логічна демонстрація та зв'язки між сутностями є реалістичними та відповідають запланованому наміру, який має розкрити модель.

Фундаменти та припущення, які використовуються для розробки моделей, слід перевіряти за допомогою статистичних методів. Крім того, слід проводити оцінку теорій, щоб переконатися, що вони були застосовані належним чином для вирішення поставленої задачі. На рисунку 5.1 показано, як системні теорії, що плануються до впровадження в гібридній хмарній платформі, повинні бути розроблені ітераційним способом.



Рисунок 5.2 – Схема процесу математичного моделювання

На рисунку 5.2 можна побачити, як у кожній ітерації виконуються процеси перевірки та підтвердження методів та моделей. Цю процедуру повторюють, доки не буде отримано дійсну прийнятну теорію системи.

В процесі математичного моделювання визначається траєкторія кожного з учасників пацієнто-центричної реабілітаційної екосистеми для формування потенційних завдань та використовується компартментована модель, яка допомагає збирати та оцінювати різноманітну інформацію, що відображає стан особи. Ця модель базується на різних аспектах здоров'я та функціонування пацієнта і містить наступні компоненти:

- біосигнали (артеріальна осцилограма, ЕКГ);
- функціональні проби;
- зображення (комп'ютерна томографія, флюорографія тощо);
- результати психічного тестування;
- оцінки з МКФ (міжкомпартментальна функціональність);
- індекс вмотивованості пацієнта;
- попередній досвід пацієнта;
- накопичені дані історій хвороб пацієнтів та їх траєкторії реабілітації.

Розробка моделі траєкторії пацієнта може бути виконана за допомогою вирішення транспортно-розподільчої задачі та задачі оптимального керування.

5.2 Технічні вимоги до функціоналу хмарної системи

Однією з найбільш швидкозростаючих галузей охорони здоров'я, яка потребує ІТ-підтримки, є телереабілітація [11-13]. Телереабілітація з використанням сучасних інформаційних технологій значно розширює можливості для пацієнтів, які борються з онкологічними захворюваннями. Телереабілітація дозволяє пацієнтам отримувати необхідну допомогу та консультації, не залишаючи свого дому, не витрачаючи багато зусиль та часу. Такий підхід дає можливість збільшити доступність до високоякісної медичної допомоги для тих, хто проживає у віддалених районах або має обмежений фізичний доступ до лікарні.

Проєкт НФДУ 2021.01/0136 присвячено розробці гібридної хмарної платформи та створенню на її основі інформаційної технології телереабілітації онкологічних хворих, що обслуговує широке коло спеціалістів з фізичної реабілітаційної медицини (ФРМ). Розроблена хмарна платформа телереабілітації он-

кологічних хворих забезпечує доступ до реабілітаційних послуг пацієнтів з віддалених районів або мають обмежену можливість відвідувати традиційні реабілітаційні центри.

В межах проєкту реалізовані наступні завдання, які безпосередньо стосуються хмарної платформи телемедичної реабілітації:

- створена гібридна хмарна платформа телемедичної реабілітації (ТР) з усіма її складовими (сервери, сховища даних, тощо);
- створено набір інструментальних засобів ТР (прилади біомоніторингу, діагностики, засоби підтримки реабілітаційних процедур відновлення організму);
- розроблені і впроваджені в хмарну платформу математичні моделі і методи прогнозування, оптимізації стосовно процесів ТР та організації архітектури інформаційно-технологічної складової, які об'єднані в прогнозно-аналітичну підсистему оцінки ефективності процесу телереабілітації;
- виконана апробація платформи у реальних умовах ТР центру.

Проєкт побудовано на використанні ряду емпірико-теоретичних та логікових методів: лінгвістично-семантичного, системного, статистичного та трансдисциплінарного аналізу інформації, онтологічного інжинірингу, багатофакторного аналізу, компонентно- та об'єктно-орієнтованого проєктування, точних математичних методів експертного оцінювання і оптимізації всіх складових процесу телереабілітації.

Телереабілітаційна платформа реалізована у вигляді сукупності окремих сервісів. Кожен сервіс підтримує онтологічну схему і забезпечує динамічне формування замовленого функціоналу за допомогою онтолого-керованої сервіс-орієнтованої архітектури. Когнітивні сервіси базової інформаційної технології забезпечують реалізацію інформаційно-аналітичних платформ, спроможних оперативно й інтегровано обробляти усю інформацію, що формується у просторово-розподілених мережевих джерелах, безперервно отримують її та обробляють усіма профільними фахівцями, учасниками реабілітаційних заходів.

Науково-технічна продукція, що створена в результаті виконання проєкту, складається з комплексу функціональних підсистем (ФП) – сервісів, серед яких можна визначити наступні:

- ФП супроводження телереабілітаційних заходів на основі МКФ;
- діагностична ФП;
- довідкова ФП;
- прогнозно-аналітична підсистема оцінки ефективності процесу телереабілітації;
- загально-медична ФП;
- ФП відображення телереабілітаційного процесу;
- ФП мережевого обміну інформацією і консультативної підтримки;
- бібліотеки відеосеансів реабілітаційних процедур.

Наявність окремих ФП вимагає забезпечення інтероперабельності [14-15] платформи, тобто забезпечення простоти обміну даними між підсистемами та інтерпретувати спільні дані (інформацію), а також забезпечувати можливість переміщення даних від однієї системи до іншої таким чином, щоб клінічне або операційне призначення та значення даних зберігалися та не змінювалися.

Прогнозно-аналітична підсистема оцінки ефективності процесу телереабілітації – це інформаційна система, яка використовується для збору, аналізу та прогнозування даних, пов'язаних з телереабілітаційними процедурами, з метою визначення та оцінки результатів і ефективності цього процесу в реабілітації пацієнтів. Ця підсистема включає в себе інструменти для моніторингу фізіологічних показників, функціональних досліджень, анкетування пацієнтів та інші методи збору інформації, а також аналітичні і прогностичні алгоритми для оцінки ефективності і вдосконалення реабілітаційних стратегій. Вона дозволяє медичним фахівцям, дослідникам та адміністраторам систематично вдосконалювати процес телереабілітації, гарантувати якість надання послуг та забезпечувати найкращі результати для пацієнтів, які перебувають у реабілітації.

Робота прогнозно-аналітичної підсистеми ґрунтується на побудові об'єднаної загальної моделі, її точному математичному обґрунтуванні, вирішенні

комплексу оптимізаційних задач на всьому просторі поставленої проблеми, спираючись на сучасні досягнення в області фізіо- і психотерапії, когнітивно-біхевіористичної і арт-терапії в поєднанні з біологічним зворотнім зв'язком і пацієнт-центричною парадигмою є запорукою забезпечення високої ефективності процесу телереабілітації.

Загальна модель, яка є основою прогнозно-аналітичної підсистеми, поєднує методи штучного інтелекту з точними математичними методами розв'язання складних задач, пов'язаних з оцінкою поточного стану пацієнта, стратегією втручання в процесі телереабілітації, розподілом фінансів на лікування.

Прогнозно-аналітична підсистема оцінки ефективності процесу телереабілітації призначена для збирання, обробки та аналізу даних для оцінки та прогнозування результатів телереабілітації пацієнтів. Система телереабілітації вимірює та аналізує наступні аспекти:

- *фізичний стан пацієнта*: система визначає та прогнозує функціональний стан пацієнта;
- *прогрес в реабілітації*: система відстежує, як пацієнт прогресує у процесі терапії, та надає прогноз щодо перебігу реабілітації;
- *виконання вправ і завдань*: система відстежує, наскільки точно пацієнт виконує вправи та завдання, що призначені для нього;
- *персоналізація терапії*: система враховує індивідуальні потреби та можливості пацієнта для надання оптимального плану реабілітації;
- *фінансово-економічні показники*: система надає інформацію щодо фактичного використання ресурсів на забезпечення реабілітації пацієнтів та прогнозує очікувані значення на весь цикл реабілітації.

Прогнозно-аналітичні моделі, що розробляються в межах проєкту, відповідають критеріям якості чотирьох аспектів: відповідність, сумісність, коректність (правильність) і достовірність. «Відповідність» припускає, що конкретне моделювання, яке використовується для моделювання розподіленого середо-

вища, відповідає протоколам і обмеженням цього середовища. «Сумісність» перевіряє, чи окремі симуляції мають потенціал для колективної роботи в добре організований спосіб. «Складність» полягає в забезпеченні сумісності, коли потрібно контролювати точність моделювання. «Достовірність» стосується рівня впевненості, з яким можна гарантувати, що імітаційна модель працює правильно, генеруючи результати.

Під час розгортання прогнозно-аналітичної системи оцінки ефективності процесу телереабілітації система забезпечує виконання наступних ролей фахівців з впровадження та користувачів зі сторони реабілітаційної команди [16]:

- спеціаліст з дизайну робочого процесу управління інформацією;
- менеджер з впровадження;
- спеціаліст з підтримки впровадження;
- лікар/практик-консультант;
- технік з програмної підтримки;
- спеціаліст з навчання та консультування.

Задовільної якості моделі можна досягти лише за наявності достатньої кількості точних та повних даних. Перевірка специфікації гарантує, що дизайн та використані моделі в програмному забезпеченні є точними та відповідають цілям їх розробки. Перевірка впровадження гарантує, що реалізація імітаційної моделі відбулася відповідно до специфікацій моделі. Експлуатаційна перевірка допомагає визначити, чи результати, отримані з імітаційної моделі, відповідають необхідному рівню точності та чи функціонують вони відповідно до основних цілей системи.

Валідація, тобто процес перевірки якості процесів і моделей, виконується на кожному етапі розробки та впровадження гібридної хмарної платформи та створення на її основі інформаційної технології телереабілітації онкологічних хворих.

Для оцінки якості прогнозних моделей використовуються ключові показники ефективності моделей, серед яких можливо визначити наступні:

1. *Точність (Accuracy) моделі*: модель дає точні прогнози, близькі до

реальних значень:

$$Acc = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN}, \quad (5.9)$$

де TP – кількість правильно класифікованих позитивних даних; TN – кількість правильно класифікованих негативних даних; FP – кількість невірно віднесених об'єктів до класу, що розглядається; FN – кількість невірно визначених об'єктів, що не належать до класу, що розглядається.

F3 *Прецизія (Precision)* показує частку правильно класифікованих об'єктів серед усіх інших, які до цього класу зарахував класифікатор:

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP}. \quad (5.10)$$

F4 *Повнота (Recall)* показує відношення правильно класифікованих об'єктів класу до загального числа елементів цього класу:

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN}. \quad (5.11)$$

F5 *Специфічність (Specificity)* демонструє співвідношення правильних класифікованих значень до загальної кількості об'єктів за межами класу:

$$Specificity = \frac{TN}{FP + TN}. \quad (5.12)$$

F6 *Коефіцієнт помилкових позитивних результатів (Fall-out – FPR)* демонструє долю кількості невірних класифікованих значень до загального числа об'єктів за межами класу:

$$FPR = \frac{FP}{FP + TN}. \quad (5.13)$$

F7 *Середня квадратична помилка (Mean Squared Error – MSE)* демонструє різницю між передбаченими і значеннями, що спостерігаються в моделі:

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n}, \quad (5.14)$$

де y_i – фактичне значення змінної; $\hat{y}_i$ – прогнозне значення змінної.

F8 *Середня абсолютна помилка (Mean Absolute Error – MAE)*:

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |y_i - \hat{y}_i|}{n}. \quad (5.15)$$

F9 *Площа під ROC-кривою* – частина координатної площини під графіком ROC-кривої. У математичній статистиці та машинному навчанні є мірою якості моделі бінарної класифікації (логістичної регресії, машини опорних векторів, тощо).

Кількість пацієнтів, які використовують особисту електронну медичну картку (ЕМК), швидко зростає. Дослідження визначили [17], що безпека даних – головний камінь спотикання на шляху впровадження ЕМК, оскільки пацієнти шукають доказів того, що будь-яка інформація, яку вони або лікар вводять у ЕМК, є повністю безпечною. Основний недолік сучасних медичних інформаційних систем (МІС) – це відсутність загальної інтеграції баз даних між медичними закладами, які використовують різні МІС.

Обмін медичною інформацією є важливим для підтримки лонгitudних медичних записів, тобто медичних записів, які збираються та зберігаються протягом тривалого періоду часу, зазвичай кількох років або навіть десятиліть. Вони містять інформацію про різні аспекти здоров'я людини, включаючи історію хвороби, результати лабораторних аналізів, медичні зображення та записи про лікування. Лонгitudні медичні записи використовуються для дослідження розвитку та перебігу захворювань, а також для оцінки ефективності медичних методів лікування. Вони особливо корисні для вивчення рідкісних захворювань або захворювань, які розвиваються поступово; вони використовуються для моніторингу стану здоров'я людей протягом тривалого періоду часу, що допомагає вчасно виявити та запобігти захворюванням. Однак лонгitudні медичні записи містять чутливу інформацію, яку необхідно захищати від несанкціонованого доступу.

Захист персональних даних в процесі телереабілітації є надзвичайно важливим, оскільки в цьому контексті обробка та передача медичної інформації

включає велику кількість конфіденційних даних пацієнтів [18]. Персональні медичні дані, такі як медичні записи, діагнози, зображення та інші медичні інформаційні дані, мають бути оброблені з дотриманням вимог конфіденційності. Всі дані, що передаються між пацієнтом та постачальником послуг телереабілітації, повинні бути зашифровані для запобігання можливому перехопленню та витоку конфіденційної інформації. Пацієнти мають право визначати, якою інформацією про свій стан здоров'я вони хочуть поділитися та кому надають доступ до неї.

Нині існують правила щодо обробки даних про здоров'я, які спрямовані на забезпечення загальної безпеки даних, конфіденційності, цілісності, доступності, прозорості та можливості втручання. Данні, що збираються, оброблюються та зберігаються в гібридній хмарній платформі захищені відповідно до існуючих вимог законодавства [19]. Запит на захист даних є головною темою обговорення у медичній сфері. В прогностно-аналітичній підсистемі оцінки ефективності процесу телереабілітації використовуються данні, що були анонімізовані та/або псевдонімізовані.

Анонімізація є одним з варіантів збереження конфіденційних даних. Цього можна досягти шляхом агрегування наборів даних, що, однак, неминуче вплине на дрібну деталізацію обробки даних. Агрегація можлива двома способами: шляхом об'єднання окремих наборів даних у групові набори даних або шляхом приховування чи консолідації ознак в окремих наборах даних. Щоб досягти ефективної анонімізації, зазвичай необхідна комбінація обох підходів. Необхідність дуже широкого агрегування виправдовується додатковими знаннями, доступними через глобальну мережеву обробку цифрових даних, з якими окремі особи можуть бути повторно пов'язані, з їхніми анонімними наборами даних.

Псевдонімізація даних визначена як заміна ідентифікаційних ознак символами. Не завжди достатньо ефективна для уникнення повторної ідентифікації, особливо якщо псевдоніми використовуються тривалий час. Те, що для псе-

вдонімізації використовуються методи хешування та асиметричного шифрування, не забезпечує абсолютної безпеки, оскільки оригінальні дані можуть бути відновлені через процес псевдонімізації. Навіть з детальними даними, їх можна повернути особам з додатковими знаннями, особливо коли індивідуальні характеристики доступні третім сторонам, таким як лікарі, фармацевти, страхові компанії та інші. Псевдонімізація обов'язкова не лише для пацієнтів, але і для джерел даних та усіх етапів збору та зберігання даних. Оцінки проводять в захищеному середовищі, де контролюється використання псевдонімів та результуючих аналітичних даних, щоб уникнути повторної ідентифікації.

Важливо забезпечити, щоб лікарі та інтердисциплінарні команди експертів могли використовувати дані для прийняття клінічних рішень на основі загального фенотипу пацієнта та інших джерел даних. Повинна бути прозорість в обробці конфіденційних даних, включаючи правові основи, правила та норми, організацію, процедури, технічну документацію та захист даних. Успіх і використання великих даних у сфері охорони здоров'я залежать не лише від технологій, але і від розвитку потенціалу, який використовується для пов'язування існуючих розподілених джерел даних та форматів в контексті конкретних захворювань. Це дозволяє підтвердити спроможність нових клінічних підходів та лікувати пацієнтів більш ефективно.

5.3 Реєстр інформації та вимог до якості даних

Протиріччя між складністю моделей та необхідністю генерувати данні є одним із головних рушійних факторів математичного моделювання та способу його виконання. Кількісні моделі, по суті, є засобами для зв'язку кількісних вимірювань з особливостями фізіологічної поведінки.

Під час моделювання та аналізу медичних даних, накопичених в базах даних, аналітики використовують різноманітні типи даних, що вимагатимуть різних підходів до обробки та мають різні обмеження. У таблиці 5.1 розглянуто найпоширеніші типи даних, що використовуються в прогнозно-аналітичній підсистемі оцінки ефективності процесу телереабілітації.

Таблиця 5.1 – Медична інформація та дані, що використовуються в підсистемі

Тип інформації	Опис
Ідентифікаційна інформація	Забезпечення унікального ідентифікатора для кожного пацієнта та співробітника в системі.
Демографічні дані	Збір та збереження основних персональних даних пацієнта, таких як: ім'я, стать, вік, адреса, контактні дані.
Історія захворювання	Збереження історії захворювання та медичних записів пацієнта.
Результати анкетування	Збір, аналіз та зберігання результатів анкет та опитувань, що стосуються стану пацієнта.
Фізіологічні показники	Запис та моніторинг фізіологічних показників пацієнта, таких як: пульс, тиск, температура, тощо.
Психологічні дані	Збір психологічних даних, які допомагають визначити емоційний стан пацієнта.
Медичні звіти	Збереження медичних звітів та діагнозів для подальшого аналізу.
Інформація про сесії телереабілітації	Запис інформації про сесії, включаючи тип та тривалість сесій, збереження відеозаписів сесій телереабілітації для подальшого аналізу.
Дані про вправи	Збереження даних про вправи, їх складність і ефективність для конкретного пацієнта.
Прогнозні значення	Прогнозування, збереження та подальший аналіз якості прогнозних моделей.

Вимірювання прогресу	Збереження даних про вимірювання та моніторинг прогресу в процесі реабілітації.
Графіки і діаграми	Збереження візуалізації даних для кращого розуміння і відстеження ефективності процесу.
Звіти про витрати	Збереження даних про витрати на телереабілітацію та їх ефективність.
Доступ до даних	Збереження даних про доступ до інформації для різних користувачів системи.
Інтеграція з іншими системами	Збереження даних про інтеграції з іншими медичними системами та Інтернет-пристроями.
Реєстрація подій та журналювання	Збереження інформації про всі події та дії, пов'язані з реабілітаційним процесом, ведення журналів подій та дій для відстеження діяльності користувачів.

Таблиця 5.2 містить інформацію щодо вимог до інформації та даних, що використовуються в прогнозно-аналітичній підсистемі оцінки ефективності процесу телереабілітації, та наведено опис вимог щодо них.

Таблиця 5.2 – Вимоги до даних, що використовуються в підсистемі

Критерій вимог	Опис
Цілісність	Дані повинні бути повними і не містити пропусків.
Достовірність	Дані повинні бути правдивими і не містити помилок.
Актуальність	Дані повинні бути актуальними і відображати поточний стан справ
Однорідність	Дані повинні бути уніфікованими і відповідати єдиним вимогам.
Логічність	Дані повинні бути логічно пов'язаними між собою.

Вимірність	Дані повинні бути вимірюваними і мати чіткі одиниці виміру.
Ясність	Дані повинні бути зрозумілими і легко інтерпретованими.
Доступність	Дані повинні бути доступними для використання в прогнозно-аналітичній підсистемі.
Безпека	Дані повинні бути захищені від несанкціонованого доступу, використання та зміни.
Повноваження	Дані повинні бути доступні лише уповноваженим користувачам.
Прийнятність	Дані повинні бути прийнятними для всіх зацікавлених сторін.
Відповідність вимогам	Дані повинні відповідати вимогам нормативно-правових актів та інших регламентів.
Відповідність цілям	Дані повинні відповідати цілям прогнозно-аналітичної підсистеми.
Відповідність методам	Дані повинні бути придатними для використання в методах прогнозування та аналізу.
Відповідність обсягу	Дані повинні бути достатніми для отримання достовірних результатів прогнозування та аналізу.
Відповідність частоти	Дані повинні збиратися з необхідною частотою для проведення прогнозування та аналізу.
Відповідність джерел	Дані повинні збиратися з надійних джерел.
Відповідність методів збору	Дані повинні збиратися з використанням надійних методів збору
Відповідність процедур	Дані повинні оброблятися з використанням надійних процедур

Хоча наведені вище типи даних різні, іноді вони з'являються разом в одному наборі даних. У зв'язку з цим важливо навчитися як їх правильно визначати, так і поводитися з ними.

Розширення наборів даних можна здійснювати як на рівні окремих стеків даних, так і за допомогою агрегованих даних. У першому випадку потрібен принаймні один індивідуальний ключ (псевдонім), який дозволяє персональне виділення. У другому випадку існує ризик того, що розширення наборів даних призведе до повторної ідентифікації за допомогою додаткових даних.

Окрім контролю над тим, яку інформацію про пацієнтів можна використовувати в математичних моделях, необхідно вирішити та узгодити з пацієнтами, яку інформацію про них можна зберігати.

5.4 Технічні вимоги до процедури ETL даних

Експлуатація прогнозно-аналітичної підсистеми оцінки ефективності процесу телереабілітації вимагає вирішення широкого спектру питань, пов'язаних з даними, що передбачається використовувати для побудови прогнозних моделей і аналізу результату їх використання. Серед основних питань управління даними можна визначити наступні [20]:

- *управління даними*: планування, нагляд і контроль за управлінням та використанням даних;
- *управління архітектурою даних*: планування, організації та керування структурою даних в гібридній хмарній платформі;
- *майнінг даних*: аналіз, проектування, створення, тестування, розгортання та обслуговування нових даних;
- *керування операціями над базами даних*: підтримка структурованих даних та запитів до них;
- *управління безпекою даних*: забезпечення приватності, конфіденційності та належного доступу до даних;
- *керування «золотими» версіями та репліками баз даних*;
- *сховище даних і управління бізнес-аналітикою*: надання доступу до даних підтримки прийняття рішень для звітності та аналізу;
- *управління документами та вмістом*: зберігання, захист, індексація та забезпечення доступу до даних, знайдених у неструктурованих джерелах (електронні файли та фізичні записи);

- *управління метаданими*: інтеграція, контроль і надання метаданих;
- *управління якістю даних*: визначення, моніторинг і покращення якості даних.

Першим кроком у розробці належної процедури аналізу даних є урахування природи даних, що передбачається використовувати. Правильне розуміння елементів даних у наборах даних (наприклад, клінічних рецептах на результатах досліджень) вимагає знання та розуміння кожного елементу даних. Іншим кроком у аналітичній процедурі є використання відповідних процедур обробки даних у правильному порядку для побудови конструкції для аналізу набору даних (аналітичної моделі процесу).

Зберігання даних з кількох джерел в одному місці (сховищі) дає змогу надсилати до них запити одночасно та використовувати для аналізу і прогнозуванню більше даних і інформації, що впливає на якість результатів. Заклади охорони здоров'я мають численні вимоги щодо надання своїх даних до різних організацій, а в сучасній охороні здоров'я сховища даних розробляються та використовуються все частіше. Все більше і більше організацій у всьому світі використовують клінічну аналітику та бізнес-аналітику, використовуючи спеціальні програми чи створюючи сховища даних, щоб документувати допомогу, яку вони надають, а також демонструвати тенденції в стані пацієнтів, документувати покращення стану пацієнтів і популяції, наслідки для здоров'я на основі догляду, який їм було надано.

ETL – це важливий процес, який використовується для перенесення даних з одного джерела до іншого з метою обробки і аналізу. Основні методи ETL включають в себе вилучення даних, форматування даних і завантаження даних. Крім основних методів, існує ряд додаткових методів, які можна використовувати для покращення ефективності та продуктивності процесу. Важливо враховувати, що ETL – це ітеративний процес, і його методи можуть змінюватися в залежності від конкретних потреб проєкту. Під час виконання ETL-процесу необхідно також приділяти увагу забезпеченню безпеки даних та дотримуватися нормативних вимог, таких як GDPR [21].

Основні етапи ETL:

1. *Вилучення даних (Extract)* – це процес отримання даних з джерела.

F10 *Форматування даних (Transform)* – це процес очищення, обробки та стандартизації даних.

F11 *Завантаження даних (Load)* – це процес перенесення даних у цільову систему. Це може бути база даних, файлова система або інше програмне забезпечення.

Першим кроком у процесі ETL є вилучення даних з джерела (ручне копіювання даних, використання API або SQL-запиту).

Ручне копіювання даних – це найпростіший спосіб вилучення даних. Однак він може бути неефективним, якщо даних багато або вони регулярно змінюються.

API – це більш ефективний спосіб вилучення даних. Багато джерел даних надають API, який використовують для отримання даних у форматі, що можна легко обробити.

SQL-запити – це ще один ефективний спосіб вилучення даних. SQL – це мова програмування, яка використовується для роботи з базами даних.

Другим кроком у процесі ETL є форматування даних, що включає очищення, обробку та стандартизацію даних.

Очищення даних – це процес видалення помилкових або непотрібних даних, що включає видалення дублікатів, виправлення помилок, заповнення пропусків і виявлення аномалій. Основні алгоритми очищення даних можна розділити на дві категорії:

1. *Алгоритми виявлення помилок* – це алгоритми, які використовуються для виявлення помилок у даних. Помилки можуть бути кількох типів, наприклад, неправильні значення, пропущені значення або дублікати.

F12 *Алгоритми виправлення помилок* – це алгоритми, які використовуються для виправлення помилок у даних. Існує кілька різних методів виправлення помилок, таких як ручне виправлення, застосування правил і використання машинного навчання.

Основні алгоритми виявлення помилок:

- *Виявлення неправильних значень* – це алгоритми, які використовуються для виявлення значень, які не відповідають очікуванням. Наприклад, алгоритм може виявити, що значення температури нижче мінусової температури.
- *Виявлення пропущених значень* – це алгоритми, які використовуються для виявлення значень, які відсутні в наборі даних. Пропущені значення можуть бути викликані різними причинами, наприклад, помилкою при зборі даних або неможливістю отримати значення.
- *Виявлення дублікатів* – це алгоритми, які використовуються для виявлення даних, які є однаковими або дуже схожими. Дублікати можуть бути викликані різними причинами, наприклад, помилкою при зборі даних або навмисним дублюванням даних.

Основні алгоритми виправлення помилок:

- *Ручне виправлення* – це найпростіший метод виправлення помилок. Цей метод вимагає від людини перевірити дані і внести необхідні зміни.
- *Застосування правил* – це метод виправлення помилок, який використовує набори правил для перевірки даних. Правила можуть бути простими або складними, що розробляються для виявлення різних типів помилок.
- *Використання машинного навчання* – це метод виправлення помилок, який використовує машинне навчання для навчання моделей, що виявляють і виправляють помилки. Цей метод ефективний для виявлення складних помилок, які важко виявити за допомогою традиційних методів.

Вибір алгоритму очищення даних залежить від типу помилок, які потрібно виявити і виправити. Для виявлення простих помилок, таких як пропущені значення або дублікати, достатньо використовувати прості алгоритми. Для виявлення складних помилок, таких як неправильні значення, можуть знадобитися більш складні алгоритми, такі як машинне навчання. Процес очищення даних може бути трудомістким і дорогим. Для оптимізації процесу очищення даних використовують такі методи:

- *Автоматизація* – використання інструментів ETL або машинного

навчання для автоматизації завдань очищення даних допомагає заощадити час і зусилля.

- *Використання хмарних технологій* для зберігання і обробки даних допомагає покращити масштабованість і доступність процесу очищення даних.

- *Бізнес-інтуїція* використовується для розробки алгоритмів очищення даних, які є більш точними і ефективними.

Очищення даних є важливим процесом, який допомагає забезпечити точність і надійність даних. Існує ряд різних алгоритмів очищення даних, які можна використовувати для виявлення і виправлення помилок у даних. Вибір алгоритму залежить від типу помилок, які потрібно виявити і виправити.

- *Обробка даних* – це процес трансформації даних у формат, який можна використовувати для аналізу, що включає об'єднання даних з різних джерел, застосування бізнес-правил і створення агрегованих даних.

- *Стандартизація даних* – це процес забезпечення того, щоб дані були представлені в єдиному форматі, і включає зміну формату дат, валют і інших даних.

- Третім кроком у процесі ETL є завантаження даних у цільову систему, в якості якої може бути база даних, файлова система або інше програмне забезпечення.

- *База даних* – це найпоширеніша цільова система для ETL. Дані можна завантажити в базу даних за допомогою SQL-запиту або спеціального інструменту ETL.

- *Файлова система* – це ще один варіант для цільової системи. Дані можна завантажити в файлову систему за допомогою звичайного текстового редактора або спеціального інструменту ETL.

- *Інше програмне забезпечення* – ETL також можна використовувати для завантаження даних у інші типи програмного забезпечення, наприклад, системи бізнес-аналітики або машинного навчання.

Крім основних методів ETL, існує ряд додаткових методів, які можна використовувати для покращення ефективності та продуктивності процесу.

Використання ETL-платформи. ETL-платформа – це програмне забезпечення, яке автоматизує процес ETL, що допомагає заощадити час і зусилля, а також підвищити точність і надійність процесу.

Використання сценаріїв – призначено для автоматизації завдань ETL, що допомагає заощадити час і зусилля, а також підвищити точність і надійність процесу.

Використання хмарних технологій. Хмарне зберігання даних і обчислювальної потужності використовують для покращення ефективності та продуктивності процесу ETL.

5.5 Основні функціональні напрями супроводу процесу реабілітації

В межах проєкту розробки гібридної хмарної платформи розробка математичних моделей спрямована на забезпечення супроводу наступних ключових аспектів реабілітації:

- на етапі «Оцінки потреб пацієнта»: на надання інформації щодо результату аналізу медичних історій (траєкторій) пацієнтів для прогнозування потенційних проблем та ризиків здоров'ю пацієнта з урахуванням його власних параметрів з метою запобігання ускладнень реабілітації;
- на етапі «Планування превентивних заходів»: на надання необхідної статистичної інформації для підготовки індивідуального плану превентивних заходів для реабілітації пацієнта на основі оцінки потреб пацієнта (рекомендації щодо змін у способі життя, правильного харчування, фізичної активності та прийому лікарських препаратів, якщо вони необхідні);
- на етапі забезпечення «Комунікацій»: на надання інформації щодо оптимальних методів забезпечення комунікацій, нагадувань та методів моніторингу і контролю за процесом реабілітації;
- на етапі забезпечення «Мотивації»: на надання рекомендацій щодо найбільш ефективних методів мотивації пацієнтів з урахуванням багатфакторності профілю пацієнта, підготовленого за допомогою методів кластеризації та особливостей історії хвороби;

– на етапі «Оцінки ефективності»: на надання рекомендацій щодо покращення процесу реабілітації за допомогою порівняння показників прогнозної моделі та фактичних результатів, оцінки причин розбіжностей та перенавчання моделей.

Реалізація математичного моделювання базується на використанні моделей (матриць) стану пацієнта до, під час та після реабілітаційної програми. Ці матриці відображають стан пацієнта на різних етапах реабілітації. Вони містять дані про фізичний, психологічний та когнітивний стан пацієнта, а також про його функціональні можливості до початку реабілітації, під час неї та після її завершення.

У галузі реабілітації існують численні завдання, де виникають розривні функції, неперервні функції з розривними градієнтами (відсутність похідних в деяких точках) або іншими негладкими властивостями, що ускладнюють їх вивчення та аналіз. Ці функції мають такі основні риси:

– *розриви градієнтів* – негладкі неперервні функції, для яких існує множина точок з розривом градієнтів (градієнт замінюється узагальненим градієнтом, який співпадає з субградієнтом у випадку опуклих функцій), тобто у цих точках функція може мати стрибок похідних. Наприклад, модульна функція $|x|$ є негладкою в точці $x = 0$, оскільки у цій точці у неї є розрив в похідній.

– *розриви функцій* – функції, значення яких визначені тільки в деяких дискретних точках та дискретних околах цих точок. Деякі з цих функцій можуть бути такими, що не мають похідних у певних точках або інтервалах. Це пов'язано з різкими змінами величини функції в околі цих точок, що робить неможливим обчислення похідних.

Аналіз таких функцій вимагає спеціальних методів та теорій, які дозволяють розуміти їх поведінку в точках особливостей. В межах розробки математичних моделей в гібридній хмарній платформі використані наступні методи негладкої оптимізації: r -Алгоритм з адаптивним кроком, негладкі штрафні функції, метод еліпсоїдів.

Методи дискретної оптимізації є математичними і обчислювальними методами, призначеними для вирішення проблем, де рішення виражається у вигляді дискретних (часто цілих) значень.

Призначення методів дискретної оптимізації:

- *комбінаторна оптимізація* – цей метод використовується для розв’язання комбінаторних задач, де потрібно знайти оптимальний набір об’єктів або послідовність дій в реабілітаційному процесі;
- *оптимізація з умовами цілі* – метод дискретної оптимізації, що допомагає знайти оптимальне рішення для проблем, де рішення обмежено дискретними параметрами або умовами;
- *комбінаторна графіка* – метод дискретної оптимізації використовується для вирішення задач на графах, таких як покриття вершин графу, що в межах реабілітаційного процесу може бути переліком завдань, які необхідно виконати задля прогресу в лікуванні, потоків або остовних дерев.

Переваги методів дискретної оптимізації:

- *всебічність*: методи дискретної оптимізації застосовуються до широкого спектру проблем і задач, які вимагають вибору дискретних рішень;
- *точність*: методи дозволяють знайти точні оптимальні рішення, що відповідають обмеженням задачі;
- *моделювання*: методи дискретної оптимізації використовуються для створення математичних моделей, що допомагають визначити оптимальні рішення та зрозуміти структуру проблеми;
- *застосування в реальному часі*: деякі методи дискретної оптимізації застосовуються в реальному часі, що дозволяє розв’язувати проблеми швидко та ефективно.
- *автоматизація*: за допомогою комп’ютерних програм і алгоритмів методи дискретної оптимізації можуть бути автоматизовані для розв’язання великої кількості задач.

Однак важливо враховувати, що деякі задачі дискретної оптимізації можуть бути обчислювально складними, особливо при збільшенні розмірності

простору пошуку. Також, в деяких випадках, методи градієнтного спуску або неперервної оптимізації можуть бути більш ефективними, якщо задача легко апроксимується континуально. Для розв'язання задач дискретної оптимізації в межах проєкту розробки гібридної хмарної платформи планується використувати наступні методи дискретної оптимізації: метод вектору спаду, метод відпалу, метод табу, метод глобального рівноважного пошуку.

Оптимізація негладких функцій є важливою для поліпшення процесів реабілітації. Ось декілька прикладів:

- *методи негладкої оптимізації* використовуються для підвищення ефективності реабілітаційних протоколів шляхом оптимізації їх тривалості, інтенсивності і частоти;
- *розробка індивідуальних лікувальних та реабілітаційних планів* для кожного онкохворого пацієнта, враховуючи особисті медичні та психологічні потреби, може вимагати оптимізації;
- *методи негладкої оптимізації* використовуються для вибору оптимального набору вправ і процедур для конкретного пацієнта з урахуванням його індивідуальних потреб і обмежень;
- *визначення оптимального розташування* реабілітаційних центрів та розподіл обладнання між ними є важливим завданням для забезпечення доступності якісного лікування для пацієнтів;
- *вибір оптимальних лікувальних препаратів* для конкретного типу раку та пацієнта потребує рішень з урахуванням численних факторів, таких як ефективність, токсичність, індивідуальні характеристики тощо;
- *розподіл ресурсів* (наприклад, лікарські препарати, фізіотерапія тощо) для пацієнтів у групі пов'язаний з наявністю обмежень, які призводять до розривів у функції вартості або корисності від призначення ресурсів;
- *оптимізація програми ерготерапії* для пацієнта з обмеженими рухами;
- *оптимізація програми психологічної реабілітації* для пацієнтів з посттравматичним стресовим розладом.

У всіх цих сценаріях оптимізація допомагає покращити результати реабілітації, незважаючи на наявність розривів, відсутність похідних або інших негладких властивостей у функціях, які моделюють ці процеси. Для вирішення комплексу оптимізаційних задач будуть використані розроблені в Інституті кібернетики нові модифікації наступних методів:

- *метод глобального рівноважного пошуку* - наближений стохастичний метод отримання якісних розв’язків булевих оптимізаційних задач великої розмірності;
- *r-алгоритми* – субградієнтні методи з розтягом простору в напрямі різниці двох послідовних субградієнтів, які є одними з ефективних сучасних методів мінімізації негладких функцій;
- *методи еліпсоїдів* – методи, швидкість збіжності яких не залежить від властивостей опуклої (опукло-увігнутої) функції, але залежить тільки від вимірності простору.

Для вирішення задач обробки експертних оцінок та для встановлення пріоритетів компонентів системи з урахуванням обмежень на загальні ресурси для системи використані наступні методи експертних оцінок: MAI, TOPSIS, ELECTRE, PROMETHEE, тощо. Для розв’язання задач лінійного, цілочислового та нелінійного програмування використано сучасне програмне забезпечення: Gurobi, CPLEX, IPOPT та інші.

Розв’язання складних задач оптимізації з використанням послідовних та паралельних алгоритмів відпрацьовуються на сучасному суперкомп’ютерному комплексі Інституту кібернетики ім. В.М.Глушкова НАН України.

5.6 Автоматизація процесів планування реабілітації за допомогою TaskFlow Optimizer

Сучасні методи реабілітації потребують інтеграції передових технологій для ефективного управління процесами відновлення пацієнтів. Програмний модуль TaskFlow Optimizer є складовою частиною хмарної платформи пацієнт-центричної телереабілітації онкологічних хворих. Хмарна платформа, в яку ін-

тегровано TaskFlow Optimizer, забезпечує моніторинг стану пацієнтів, що дозволяє фахівцям фізичної реабілітаційної медицини своєчасно коригувати призначення та реабілітаційний процес. Це особливо важливо в умовах пандемій та інших надзвичайних ситуацій, коли фізичний доступ до медичних закладів може бути обмеженим. Платформа підтримує взаємодію між пацієнтами та медичними працівниками через захищені канали зв'язку, що забезпечує конфіденційність та безпеку медичної інформації.

TaskFlow Optimizer є важливим інструментом у сучасній телереабілітації онкологічних хворих, забезпечуючи індивідуальний підхід до реабілітації, підвищуючи ефективність медичної допомоги та покращуючи якість життя пацієнтів. Програмний модуль TaskFlow Optimizer є центральним компонентом системи, що забезпечує аналіз та обробку даних, необхідних для ефективної телереабілітації онкохворих пацієнтів. Цей модуль використовує передові технології машинного навчання та штучного інтелекту для аналізу великого обсягу даних, враховуючи численні фактори, що впливають на здоров'я пацієнта, фізіологічні показники, історію захворювання, результати обстежень та інші дані, що дозволяє забезпечити високу точність прогнозів щодо можливих ускладнень та ефективності реабілітаційних заходів, допомагаючи лікарям вчасно вживати необхідних заходів для корекції лікування. Модуль TaskFlow Optimizer дозволяє оцінювати ефективність різних реабілітаційних стратегій, процедур та медикаментів. Це здійснюється шляхом аналізу даних щодо стану пацієнтів до та після застосування певних методів лікування. Завдяки цьому лікарі можуть визначити, які заходи є найбільш ефективними для конкретного пацієнта або групи пацієнтів, та оптимізувати реабілітаційні програми для досягнення найкращих результатів.

5.6.1. Функції програмного модуля TaskFlow Optimizer

TaskFlow Optimizer є інноваційним програмним модулем, розробленим для оптимізації процесів телереабілітації пацієнтів. Його функціональність спрямована на ефективне управління даними, аналіз стану пацієнтів та надання

персоналізованих рекомендацій щодо реабілітаційних заходів. Серед основних функцій програмного модуля TaskFlow Optimizer можна виділити наступні:

Агрегація даних. TaskFlow Optimizer здійснює збір даних з різних джерел, що дозволяє створити цілісну картину стану здоров'я пацієнтів.

Профілювання пацієнтів. Однією з ключових функцій TaskFlow Optimizer є профілювання пацієнтів, що дозволяє групувати їх за схожими характеристиками. Це важливо для розробки цілеспрямованих реабілітаційних програм, які враховують індивідуальні особливості кожного пацієнта. Такий підхід сприяє підвищенню ефективності реабілітації та поліпшенню результатів лікування.

Прогнозування стану пацієнта. TaskFlow Optimizer використовує моделі машинного навчання для аналізу даних пацієнтів, що дозволяє здійснювати точне прогнозування стану здоров'я пацієнтів. Цей процес передбачає оцінку ймовірного ступеня «важкості» стану за міжнародною класифікацією функціонування (МКФ), що є важливим для прийняття обґрунтованих рішень щодо подальших кроків у реабілітації.

Надання рекомендацій та аналіз ефективності. Завдяки результатам прогнозування, TaskFlow Optimizer надає лікарям рекомендації щодо постановки реабілітаційних цілей. Крім того, система аналізує ефективність різних реабілітаційних заходів, що дозволяє оптимізувати процес лікування.

Інформаційна підтримка для оптимізації. TaskFlow Optimizer надає фахівцям фізичної реабілітаційної медицини цінну інформацію та рекомендації на основі аналізу даних, що допомагає приймати обґрунтовані рішення щодо оптимізації реабілітаційного процесу. Процес ґрунтується на оптимізації використання ресурсів медичних закладів, що є важливим у контексті зростаючого навантаження на систему охорони здоров'я.

Валідація моделей та інтероперабельність. Забезпечення якості математичних моделей є важливим етапом розробки та використання TaskFlow Optimizer. Валідація моделей на кожному етапі сприяє підвищенню надійності системи. Крім того, TaskFlow Optimizer забезпечує простоту обміну даними між

підсистемами, що дозволяє інтегрувати її в існуючу інфраструктуру медичних закладів.

5.6.2. Архітектура програмного модуля TaskFlow Optimizer

Архітектура програмного модуля TaskFlow Optimizer забезпечує ефективну обробку та аналіз даних для підтримки процесу телереабілітації та постановки задач оптимізації. Цей модуль складається з декількох ключових компонентів, які спільно забезпечують його функціональність. Архітектура модуля TaskFlow Optimizer наведена на рисунку 5.3.

Зображена на рисунку 5.3 архітектура модуля TaskFlow Optimizer складається з наступних компонентів:

Модуль ETL (Extract, Transform, Load) забезпечує вилучення і агрегацію даних з різних джерел, їх трансформацію для відповідності вимогам системи та завантаження в базу даних. Це дозволяє інтегрувати дані з різних систем і джерел, забезпечуючи їхню якість, консистентність і актуальність.

База даних зберігає базу знань, історичні дані, результати аналізу та інші важливі дані. База знань дозволяє швидко отримувати необхідні дані та використовувати їх для аналізу та прийняття рішень.

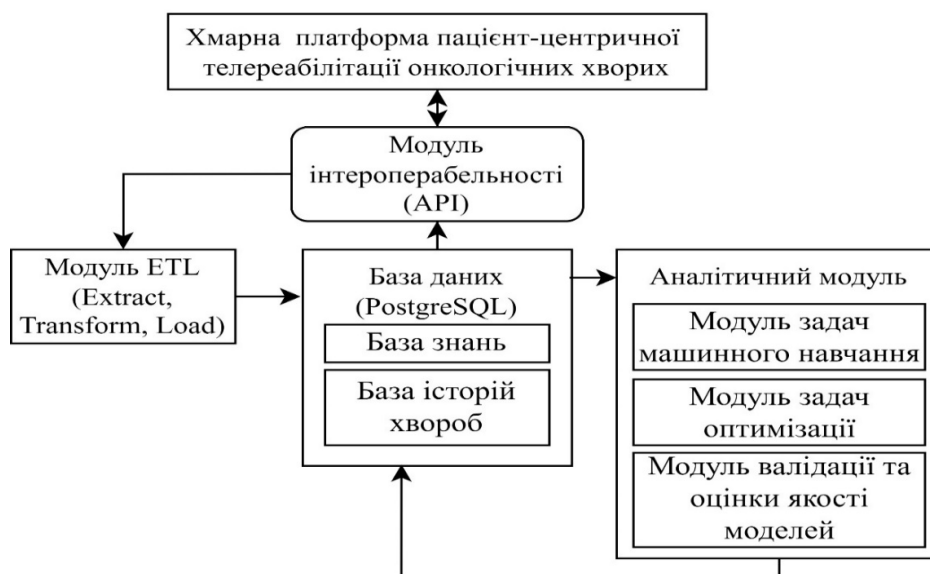


Рисунок. 5.3 – Архітектура модуля TaskFlow Optimizer

Аналітичний модуль виконує обробку та аналіз даних, використовуючи алгоритми машинного навчання та статистичні методи. Аналітичний модуль надає інформацію щодо результатів аналізу, прогнози та рекомендації стосовно напрямків оптимізації процесів.

Модуль інтероперабельності забезпечує обмін даними між різними підсистемами хмарної платформи пацієнт-центричної телереабілітації онкологічних хворих.

TaskFlow Optimizer використовує широкий спектр передових технологій та інструментів, щоб надавати необхідну інформацію фахівцям фізичної реабілітаційної медицини для ефективної телереабілітації онкохворих пацієнтів. Однією з ключових технологій, що використовуються в TaskFlow Optimizer, є машинне навчання (ML). Моделі ML аналізують великі обсяги анонімізованих даних пацієнтів, що дозволяє здійснювати точне прогнозування стану здоров'я та визначення індивідуальних реабілітаційних потреб.

Для зберігання та обробки даних TaskFlow Optimizer використовує хмарні технології, що дозволяє забезпечити масштабованість, надійність та доступність системи в будь-який час та з будь-якого місця. Хмарна платформа також забезпечує захист даних та відповідність стандартам безпеки, що є критично важливим у медичній сфері.

TaskFlow Optimizer використовує різноманітні алгоритми машинного навчання: регресія, дерева рішень, нейронні мережі та інші, для аналізу даних пацієнтів, прогнозування їх стану та розробки персоналізованих рекомендацій. Методи обробки природної мови (Natural Language Processing, NLP), що використані в TaskFlow Optimizer, дозволяють аналізувати текстові дані з медичних записів, звітів та інших джерел, що допомагає отримати більш загальну картину стану пацієнта та його потреб. Використання статистичних методів дозволяє виявляти закономірності та кореляції в даних, що є важливим для розуміння факторів, які впливають на результати реабілітації. В процесі розробки TaskFlow Optimizer використані сучасні фреймворки: TensorFlow, PyTorch,

Scikit-learn, Gensim та інші інструменти для створення моделей машинного навчання. Це забезпечує високу продуктивність, надійність та гнучкість системи, що дозволяє швидко адаптувати її до змінних потреб фахівців фізичної реабілітаційної медицини та пацієнтів.

Для забезпечення високої точності та надійності прогнозів, аналітичний модуль TaskFlow Optimizer проходить постійну валідацію та контроль якості. Це передбачає регулярне тестування моделей машинного навчання, перевірку точності прогнозів на нових даних та оновлення моделей з урахуванням останніх медичних знань та практик. Завдяки цьому лікарі можуть бути впевнені в достовірності та надійності рекомендацій, що надаються системою.

TaskFlow Optimizer постійно вдосконалюється та адаптується завдяки алгоритмам машинного навчання, які здатні навчатися на нових даних і поліпшувати свої прогнози з часом, забезпечуючи підвищення якості прогнозування та адаптацію до змінних умов і нових медичних знань. Забезпечує надання рекомендацій фахівцям фізичної реабілітаційної медицини та менеджерам реабілітаційних центрів на основі результатів аналізу та прогнозування. Ці рекомендації допомагають лікарям приймати обґрунтовані рішення щодо постановки реабілітаційних цілей, корекції програм лікування та вибору оптимальних методів реабілітації. Це сприяє підвищенню ефективності лікування та покращенню якості життя пацієнтів.

Завдяки автоматизації багатьох рутинних завдань, таких як збір та обробка даних, TaskFlow Optimizer дозволяє медичним працівникам зосередитися на більш складних та важливих аспектах лікування. Прогнозування стану пацієнтів та надання рекомендацій також допомагають лікарям швидше приймати обґрунтовані рішення щодо реабілітаційних заходів, що підвищує ефективність лікування. Крім того, система допомагає оптимізувати використання медичних ресурсів: обладнання та медикаменти, завдяки точному прогнозуванню та аналізу ефективності реабілітаційних заходів.

5.6.3 Перспективи розвитку програмного модуля TaskFlow Optimizer

TaskFlow Optimizer, як складова інноваційного програмного забезпечення для телереабілітації онкохворих, вже пропонує значний набір функцій, які сприяють ефективному управлінню процесом реабілітації. Проте існує безліч можливостей для розширення функціональності, що може ще більше підвищити його ефективність та адаптивність до змінних потреб пацієнтів та медичних установ. Одним з перспективних напрямків розвитку TaskFlow Optimizer є інтеграція з IoT-пристроями (Internet of Things): фітнес-браслети, розумні годинники та інші гаджети, що відстежують фізіологічні показники в режимі реального часу. Це дозволить лікарям отримувати ще більше даних про стан пацієнтів, аналізувати їхню фізичну активність, якість сну, частоту серцевих скорочень та інші параметри, що важливі для оцінки реабілітаційного прогресу.

Отже, TaskFlow Optimizer є незамінним інструментом у сучасних умовах реабілітації, зокрема для телереабілітації онкохворих. Завдяки своїм функціональним можливостям, цей програмний продукт сприяє підвищенню ефективності реабілітаційних заходів, оптимізації ресурсів та покращенню якості життя пацієнтів. Інтеграція TaskFlow Optimizer у медичну практику відкриває нові перспективи для розвитку системи охорони здоров'я та надає лікарям потужні інструменти для прийняття обґрунтованих рішень.

5.7 Висновки до розділу

В розділі розглянуто ключові аспекти розвитку та впровадження технологій телереабілітації, було зосереджено увагу на важливих питаннях математичного моделювання та оптимізації цього процесу. Були розглянуті основні аспекти математичного моделювання процесу реабілітації, та доведено його важливість для розробки ефективних телереабілітаційних систем.

В розділі були проаналізовані методи та інструменти математичного моделювання, які можуть бути використані для створення моделей реабілітацій-

них процесів, використовуючи реєстр інформації про пацієнтів, та описана необхідність встановлення вимог до якості даних, які зберігаються в цьому реєстрі. Забезпечення дотримання означених рекомендацій дозволяє отримати належну якість інформації, знизити вимоги та витрати на процедури очистки та підготовки даних (ETL) і сприяє вдосконаленню процесу телереабілітації.

Загальна мета розділу – висвітлення ключових аспектів математичного моделювання та оптимізації у галузі телереабілітації, що допомагає покращити якість надання послуг та забезпечити кращий результат для пацієнтів. Висновки цього розділу слугують підґрунтям для розробок та впровадження технологій телереабілітації.

Список використаної літератури розділу 5

1 Walton N. Chapter 6 – Precision (personalized) medicine. *Practical Data Analytics for In-novation in Medicine. Building Real Predictive and Prescriptive Models in Personalized Healthcare and Medical Research Using AI, ML, and Related Technologies*. 2nd ed. Academic Press, Cambridge, 2023. P. 73-103. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-95274-3.00002-6>.

2 Ivanova M., Raś Z.W. Recommendation Systems in Healthcare. *Recommender Systems for Medicine and Music. Studies in Computational Intelligence*. Springer, Cham, 2021. 946. P. 1-11. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-66450-3_1.

3 Yamanaka N., Tsukamoto S., Ishida Y. Clinical questions on rehabilitation in cancer patients with skeletal metastasis : a content analysis of the multidisciplinary tumor board records. *Support Care Cancer*. 2020. 29. P. 2015-2020, (2021). DOI: <https://doi.org/10.1007/s00520-020-05696-3>.

4 Palagin O.V., Malakhov K.S., Velychko V.Yu., Semykopna T.V. Hybrid e-rehabilitation services : SMART-system for remote support of rehabilitation activities and services. *Int J Telerehab*. 2022. DOI: <https://doi.org/10.5195/ijt.2022.6480>.

5 Nowak H., Szwacka D.M., Pater M., Mrugalski W.K., Milczarek M.G., Staniszewska M.M., Jankowski R., Barciszewska A. Holistic Approach to the Diagnosis and Treatment of Patients with Tumor Metastases to the Spine. *Cancers*. 2022. 14 (14), 3480. DOI: <https://doi.org/10.3390/cancers14143480>.

6 Weng W.H. Machine Learning for Clinical Predictive Analytics. *Leveraging Data Science for Global Health*. Springer. 2020. P. 199-217. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-47994-7_12.

7 Malakhov K., Petrenko M., Cohn E. Developing an ontology-based system for semantic processing of scientific digital libraries. *SACJ*. 2023. 35. P. 19-36. DOI: <https://doi.org/10.18489/sacj.v35i1.1219>.

8 Cutler C. R., Ramaker B. L. Dynamic matrix control – a computer control algorithm. *Proceedings of the joint automatic control conference*. San Francisco, CA, 1980. Paper WP5-B.

9 Cobelli C., Carson E. 1 – An Introduction to Modelling Methodology. *Modelling Methodology for Physiology and Medicine*. 2nd ed. Elsevier, Oxford, 2014. P. 1-11. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-411557-6.00001-X>.

10 Cilla M., Martínez J., Martínez M.A., Peña E. Chapter 3 – Deep learning applied to detection of the vulnerable atherosclerotic plaque. *Digital Human Modeling and Medicine*. Academic Press, Cambridge, 2023. P. 63-83 DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823913-1.00013-0>.

11 Caldeira C.M., Figueiredo M.C., Dodakian L., Souza C.D., Cramer S.C., Chen Y. Towards Supporting Data-Driven Practices in Stroke Telerehabilitation Technology. *Proceedings of the ACM on Human-Computer Interaction*. 2021. 5. P. 1-33. DOI: <https://doi.org/10.1145/3449099>.

12 Ratcliff C.G., Bonthala S., Torres D., Korupolu R. Telerehabilitation for Integrative Health. *Telerehabilitation*. 2022. 15. P. 213-224. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-82486-6.00015-0>.

13 Gorgey A.S., Goldsmith J.A., Anderson M., Castillo T. Telerehabilitation for Exercise in Neurological Disability. *Telerehabilitation*. 2022. 22. P. 319-337. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-82486-6.00022-8>.

14 Lee E., Seo Y., Oh S., Kim Y. A Survey on Standards for Interoperability and Security in the Internet of Things. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*. 2021. 23. P. 1020-1047. DOI: <https://doi.org/10.1109/COMST.2021.3067354>.

15 Cheng A.C., Duda S.N., Taylor R.J., Delacqua F., Lewis A.A., Bosler T., Johnson K.B., Harris P.A. REDCap on FHIR: Clinical Data Interoperability Services. *Journal of biomedical informatics*. 2021. 103871. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jbi.2021.103871>.

16 Cobelli C., Carson E.R. Parametric models – the estimation problem. *Introduction to Modeling in Physiology and Medicine*. 2019. 8. P. 195-234. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-012160240-6.50009-0>.

17 Keshta I.M., Odeh A.J. Security and privacy of electronic health records : Concerns and challenges. *Egyptian Informatics Journal*. 2020. 22. P. 177-183. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eij.2020.07.003>.

18 Палагін О.В., Семикопна Т.В., Чайковський І.А., Сівак О.В. Телереабілітація : інформаційно-технологічна підтримка та досвід використання. *Клінічна інформатика і телемедицина*. 2020. 15 (16). С. 35-44. DOI: <https://doi.org/10.31071/kit2020.16.15>.

19 Про захист персональних даних : Закон України від 01.06.2010 р. №2297–VI. Офіційне інтернет-представництво Президента України. URL: <https://www.president.gov.ua/documents/2297vi-11567>.

20 Mosley M. DAMA-DMBOK. Functional Framework. Version 3.02. VP Education Services, DAMA International. 2008. 18 p.

21 What is GDPR, the EU's new data protection law? *GDPR.EU*. URL: <https://gdpr.eu/what-is-gdpr/>.

6 РОЗРОБЛЕННЯ МЕТОДІВ НЕГЛАДКОЇ ТА ДИСКРЕТНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ ДЛЯ МОДЕЛЕЙ РЕАБІЛІТАЦІЙНОГО ПРОЦЕСУ

Побудова математичних моделей телереабілітаційного та реабілітаційного процесів передбачає розв'язання відповідних задач за допомогою методів негладкої та дискретної оптимізації, включаючи субградієнтні алгоритми з перетворенням простору, метод вектору спаду та метод глобального рівноважного пошуку. У даному розділі наведено опис двох методів негладкої оптимізації (r -алгоритм – субградієнтний метод з розтягуванням простору у напрямі різниці двох послідовних субградієнтів та метод еліпсоїдів – частинний випадок субградієнтних методів з розтягом простору в напрямі субградієнта) та двох методів локального пошуку для розв'язання задач дискретного програмування (методи вектору спаду та глобального рівноважного пошуку).

6.1 r -Алгоритм з адаптивним кроком та негладкі штрафні функції

Для розв'язання задач нелінійного програмування можна використовувати метод негладких штрафних функцій та octave-програму **ralgb5a**, яка реалізує r -алгоритм з адаптивним кроком – субградієнтний метод з постійним коефіцієнтом розтягу простору у напрямі різниці двох послідовних субградієнтів та адаптивним способом регулювання кроку в напрямі антисубградієнта в перетвореному просторі змінних [1, 2]. Ця модифікація відома як $r(\alpha)$ -алгоритми, де α ($\alpha > 1$) – коефіцієнт розтягу простору, який є одним і тим самим на кожній ітерації r -алгоритмів.

6.1.1 $r(\alpha)$ -Алгоритм з адаптивним кроком та програма **ralgb5a**

Розглядається задача пошуку точки мінімуму опуклої функції $f(x)$, $x \in R^n$. Мінімальне значення функції позначимо $f^* = f(x^*)$, де $x^* \in X^*$.

Означення 6.1. $r(\alpha)$ -алгоритмом мінімізації функції $f(x)$ називається ітеративна процедура знаходження послідовності n -вимірних векторів $\{x_k\}_{k=0}^{\infty}$ та послідовності $n \times n$ -матриць $\{B_k\}_{k=0}^{\infty}$ за таким правилом:

$$x_{k+1} = x_k - h_k B_k \xi_k, \quad B_{k+1} = B_k R_\beta(\eta_k), \quad k = 0, 1, 2, \dots, \quad (6.1)$$

де

$$\xi_k = \frac{B_k^T g_f(x_k)}{\|B_k^T g_f(x_k)\|}, \quad h_k \geq h_k^* = \arg \min_{h \geq 0} f(x_k - h B_k \xi_k), \quad (6.2)$$

$$\eta_k = \frac{B_k^T r_k}{\|B_k^T r_k\|}, \quad r_k = g_f(x_{k+1}) - g_f(x_k). \quad (6.3)$$

Тут x_0 – стартова точка; $B_0 = I_n$ – одинична $n \times n$ -матриця¹; h_k^* – величина кроку до точки мінімуму функції $f(x)$; $R_\beta(\eta) = I_n + (\beta - 1)\eta\eta^T$ – оператор стиснення простору субградієнтів у нормованому напрямку η з коефіцієнтом $\beta = 1/\alpha < 1$; $g_f(x_k)$ і $g_f(x_{k+1})$ – субградієнти функції $f(x)$ в точках x_k та x_{k+1} . Якщо на ітерації k процесу (6.1) – (6.3) виконані критерії (умови) зупинки, то вважаємо $k^* = k$, $x_k^* = x_k$ і закінчуємо роботу алгоритму.

Коментар. На кожній ітерації r -алгоритмів реалізується субградієнтний спуск для опуклої функції $\varphi(y) = f(B_k y)$ в перетвореному просторі змінних $y = A_k x$, де $A_k = B_k^{-1}$. Дійсно, якщо обидві частини формули $x_{k+1} = x_k - h_k B_k \xi_k$ домножити зліва на матрицю A_k , то отримаємо

$$y_{k+1} = A_k x_{k+1} = A_k x_k - h_k \xi_k = y_k - h_k \frac{B_k^T g_f(x_k)}{\|B_k^T g_f(x_k)\|} = y_k - h_k \frac{g_\varphi(y_k)}{\|g_\varphi(y_k)\|}, \quad (6.4)$$

де вектор $g_\varphi(y_k) = B_k^T g_f(x_k)$ є субградієнтом функції $\varphi(y) = f(B_k y)$ в точці $y_k = A_k x_k$ простору змінних $y = A_k x$.

Сімейство $r(\alpha)$ -алгоритмів визначається коефіцієнтом розтягу простору $\alpha > 1$ і послідовністю величин кроків $\{h_k\}_{k=0}^\infty$, які визначають ті два послідовні субградієнти $g_f(x_k)$ і $g_f(x_{k+1})$, розтягування за різницею яких (див. формулу (6.2)) зменшує ступінь витягнутості функції в перетвореному просторі змінних. Вибір коефіцієнта $\alpha > 1$ та адаптація величин $\{h_k\}_{k=0}^\infty$ до критеріїв зупинки

¹В якості матриці B_0 часто вибирають діагональну матрицю D_n з додатними коефіцієнтами на діагоналі, за допомогою якої здійснюється масштабування змінних.

визначають ті чи інші варіанти $r(\alpha)$ -алгоритмів. Кількість ітерацій $r(\alpha)$ -алгоритму, необхідна для знаходження точки x_{k^*} , для якої $f(x_{k^*}) - f^* \leq \varepsilon$, емпірично оцінюється як $k^* = O(n \log(1/\varepsilon))$, де n – кількість змінних.

В практичних реалізаціях $r(\alpha)$ -алгоритмів зазвичай використовують адаптивний спосіб регулювання кроку. Він полягає у тому, що величина h_k налаштовується (адаптується) в процесі виконання одновимірного спуску, який завершується, як тільки знайдено субградієнт, що утворює негострий кут з субградієнтом, що визначає напрямок одновимірного спуску (умова завершення спуску за напрямом). Налаштування величини кроку h_k здійснюється за допомогою чотирьох параметрів: $h_0 > 0$ – величина початкового кроку (використовується на першій ітерації, а на кожній наступній – уточнюється); q_1 ($q_1 \leq 1$) – коефіцієнт зменшення кроку (якщо умова завершення спуску за напрямком виконується за перший крок); q_2 ($q_2 \geq 1$) – коефіцієнт збільшення кроку. Через кожні n_h кроків одновимірного спуску ($h_h > 1$) величина кроку збільшується в q_2 раз. Якщо множина мінімумів X^* є обмеженою, то після скінченної кількості кроків адаптивного спуску в напрямку нормованого антисубградієнта обов'язково виконується умова завершення спуску за напрямом.

Octave-функція **ralgb5a** [3] є спрощеною (для зручності використання) версією програми **ralgb5** [4, с. 383–386], в якій використовується метод (6.1) – (6.3). Тут абревіатура «**b5**» означає, що в основу програми покладено r -алгоритм у B -формі, де коректується $n \times n$ -матриця B , а кожна ітерація вимагає $5n^2$ арифметичних операцій множення, які визначають обчислювальну трудоемність ітерації (операції додавання не враховуються через їхній малий внесок у трудоемність ітерації).

У програмі **ralgb5a** зафіксовані два найбільш часто використовувані параметри $q_2 = 1.1$ і $n_h = 3$. При цьому величина початкового кроку для чергової ітерації може максимально збільшуватися в 10^6 разів. У програмі **ralgb5a** використовується параметр **intp** (**interval for print**), який забезпечує друк

інформації про хід процесу мінімізації через кожні **intp** ітерацій. Цей параметр дозволяє скоротити протокол роботи програми при мінімізації функції для сотень і тисяч змінних, коли кількість ітерацій оцінюється тисячами і десятками тисяч. Програма використовує параметри ε_x і ε_g для зупинки ітераційного процесу в точці $x_{k^*} \in [x_k, x_{k+1}]$, де $\|x_{k+1} - x_k\| \leq \varepsilon_x$ (зупинка за аргументом), або $\|g_f(x_{k^*})\| \leq \varepsilon_g$ (зупинка за нормою градієнта, яка використовується для гладких функцій). Використовуються також стандартна зупинка, якщо перевищено задану максимальну кількість ітерацій **maxitn**, та аварійна зупинка, яка сигналізує про те, що або функція $f(x)$ не є обмеженою знизу, або початковий крок h_0 занадто малий, і його треба збільшити.

Якщо ітераційний процес запускається зі стартової точки x_0 , то параметри $r(\alpha)$ -алгоритму рекомендується вибирати наступними: $\alpha \in [2, 4]$, $q_1 = 1.0$ (для негладких функцій), $q_1 = 0.8 \div 0.95$ (для гладких функцій), $h_0 \approx \|x_0 - x^*\|$ – оцінка відстані від стартової точки x_0 до точки мінімуму x^* . Як правило, використовуються такі параметри зупинки: $\varepsilon_x \approx 10^{-6}$, $\varepsilon_g \approx 10^{-12}$, **maxitn** $\approx 20n$. Тут параметр ε_g використовується для гладких функцій, а параметр ε_x – для негладких функцій. Якщо програма **ralgb5a** завершує роботу за умовою $\|x_{k+1} - x_k\| \leq \varepsilon_x = 10^{-8}$, то цього цілком достатньо, щоб на 14–15 порядків зменшити різницю між знайденим рекордним значенням квадратичної функції f_r та її мінімальним значенням f^* .

Octave-функція **ralgb5a** призначена для знаходження x_r^* – наближення до точки мінімуму опуклої функції $f(x)$ від n змінних. Вона використовує Octave-функцію **function [f, g] = calcfg (x)**, яка обчислює значення функції $f = f(x)$ та її субградієнта $g = g_f(x)$ в точці x . Ця функція готується користувачем та може мати довільне ім'я, яке підтримує синтаксис Octave.

Код Octave-функції **ralgb5a**, який включає короткі англomовні коментарі для вхідних та вихідних параметрів, наведено нижче.

```

#
# Input parameters:                                     #rowc02
#   calcfg -- name of the function calcfg(x) for calculation #rowc03
#             of f(x) and its subgradient g(x),           #rowc04
#   x -- starting point (it is modified in the program), x(1:n) #rowc05
#   alpha -- coefficient of space dilation (alpha = 2:4)    #rowc06
#   h0, q1 -- parameters of the adaptive step adjustment,   #rowc07
#   recommend: h0=1, q1=1.0 - nonsmooth, q1=0.8:0.95 - smooth #rowc08
#   epsx, epsg, maxitn -- stop parameters                  #rowc09
#   intp -- print information for every intp iteration      #rowc10
# Output parameters:                                     #rowc11
#   xr -- record point (with the best function value), xr(1:n) #rowc12
#   fr -- the value of the function f at the point xr      #rowc13
#   itn -- the number of iterations                        #rowc14
#   nfg -- the number of function calcfg calls             #rowc15
#   ist -- exit code: 2-epsg, 3-epsx, 4-maxitn, 5-warning  #rowc16
#
function [xr,fr,itn,nfg,ist] = ralgb5a(calcfg,x,alpha,h0,q1, #row001
                                     epsg,epsx,maxitn,intp); #row002
itn = 0; B = eye(length(x)); hs = h0; lsa = 0; lsm = 0; #row003
xr = x; [fr,g0] = calcfg(xr); nfg = 1; #row004
if (intp>0) #row005
    printf("itn %4d f%17.6e fr%17.6e  nfg %4d\n",itn,fr,fr,nfg); #row006
endif #row007
if(norm(g0) < epsg) ist = 2; return; endif #row008
for (itn = 1:maxitn) #row009
    dx = B * (g1 = B' * g0)/norm(g1); #row010
    d = 1; ls = 0; ddx = 0; #row011
    while (d > 0) #row012
        x -= hs * dx; ddx += hs * norm(dx); #row013
        [f, g1] = calcfg(x); nfg ++; #row014
        if (f < fr) fr = f; xr = x; endif #row015
        if(norm(g1) < epsg) ist = 2; return; endif #row016
        ls ++; (mod(ls,3) == 0) && (hs *= 1.1); #row017
        if(ls > 500) ist = 5; return; endif #row018
        d = dx' * g1; #row019
    endwhile #row020
    (ls == 1) && (hs *= q1); lsa=lsa+ls; lsm=max(lsm,ls); #row021
    if(mod(itn,intp)==0) #row022
        if (intp>0) #row023
            printf("itn %4d f %14.6e fr %14.6e", itn, f, fr); #row024
            printf("  nfg %4d lsa %3d lsm %3d\n", nfg, lsa, lsm); #row025
        endif #row026
        lsa=0; lsm=0; #row027
    endif #row028
    if(ddx < epsx) ist = 3; return; endif #row029
    xi = (dg = B' * (g1 - g0) )/norm(dg); #row030
    B += (1 / alpha - 1) * B * xi * xi'; #row031
    g0 = g1; #row032
endfor #row033
ist = 4; #row034
endfunction #row035

```

При мінімізації негладких функцій рекомендується вибирати: $\alpha=2 \div 3$, $h_0=1.0$, $q_1=1.0$. При мінімізації гладких функцій рекомендується використовувати $q_1=0.8 \div 0.97$. При правильному виборі цих параметрів можна значно скоротити кількість ітерацій для виконання одних і тих самих критеріїв зупинки. Це залежить від конкретного виду функції, що мінімізується, ступеня її яружності та масштабу змінних.

6.1.2 Метод негладких штрафних функцій

Метод штрафних функцій з негладкою функцією штрафу використовується для врахування обмежень, заданих у формі рівностей або нерівностей, в умовних задачах математичного програмування. Він дозволяє звести умовну задачу математичного програмування на мінімум до задачі безумовної мінімізації негладкої функції. Розглянемо метод негладких штрафних функцій згідно з монографією [1], стор. 188–189.

Нехай розглядається задача опуклого програмування

$$\min_{x \in R^n} f_0(x) \quad \text{при} \quad f_i(x) \leq 0, \quad i = 1, \dots, m. \quad (6.5)$$

Визначимо функцію

$$S(x) = f_0(x) + \sum_{i=1}^m p_i[f_i(x)], \quad (6.6)$$

де $p_i(t)$, $i = 1, \dots, m$, задовольняють умовам опуклості, $p_i(t) = 0$ для $t < 0$, $p_i(t) \geq 0$ для $t > 0$. Допустимо, що існує x^* – оптимальний розв’язок задачі $\inf_x S(x)$.

Теорема 6.1. Для того, щоб x^* було оптимальним розв’язком задачі (6.5), необхідно, щоб

$$\lim_{t \rightarrow +0} \frac{p_i(t)}{t} \geq \bar{y}_i, \quad i = 1, \dots, m,$$

де $\bar{y} = (\bar{y}_1, \dots, \bar{y}_m)$ – деякі множники Лагранжа задачі (6.5).

Для того, щоб (6.5) і (6.6) мали однакову множину оптимальних розв’язків, достатньо, щоб $\lim_{t \rightarrow +0} \frac{p_i(t)}{t} > \bar{y}_i$.

Найпростіший варіант негладкої функції штрафу має вигляд

$$p(t) = \begin{cases} 0, & t \leq 0, \\ ct, & t > 0. \end{cases} \quad (6.7)$$

З теореми 6.1 випливає, що для того, щоб задача мінімізації $S(x)$ була еквівалентна задачі (6.5) при

$$p_i(t) = \begin{cases} 0, & t \leq 0, \\ c_i t, & t > 0. \end{cases} \quad i = 1, \dots, m, \quad (6.8)$$

достатньо вибрати $c_i > \overline{y_i}$.

Великий інтерес представляє штрафна функція

$$T(x) = f_0(x) + p \left[\max_{i \in 1, m} f(x_i) \right],$$

де $p(t)$ обчислюється за формулою (6.7). Легко бачити, що якщо $c > \sum_{i=1}^m \overline{y_i}$, то

$$p \left(\max_{i \in 1, m} f(x_i) \right) \geq \sum_{i=1}^m p_i[f_i(x)],$$

де p_i обчислюється за формулами (6.8), $c = \sum_{i=1}^m c_i$; $c_i > \overline{y_i}$. Таким чином, при

$c > \sum_{i=1}^m \overline{y_i}$ задача мінімізації функції $T(x)$ еквівалентна задачі (6.5).

При використанні для розв'язання спеціальних умовних задач математичного програмування негладкої штрафної функції у формі функції максимуму можна застосовувати теорему Б.М.Пшеничного про точні штрафні функції.

Нехай для врахування обмежень у задачі (6.5) використовується негладка штрафна функція у формі функції максимуму:

$$\Phi_N(x) = f_0(x) + N \times \max\{0, f_1(x), \dots, f_m(x)\}. \quad (6.9)$$

Розглянемо сімейство параметричних задач

$$V(z) = \inf \{f_0(x) : f_i(x) \leq z_i; i = 1, \dots, m\},$$

залежне від вектора $z \in R^m$. Очевидно, що

$$V(0) = \inf \{ f_0(x) : f_i(x) \leq 0; i = 1, \dots, m \}$$

збігається з розв'язком задачі (6.5). Справедлива наступна теорема [5].

Теорема 6.2. Нехай $\inf_{\lambda > 0} \frac{V(\lambda e) - V(0)}{\lambda} = -L > -\infty$, де e – m -вимірний вектор, усі компоненти якого дорівнюють одиниці. Якщо $N > L$, то тоді точки мінімуму задач $V(0)$ і $\inf_{x \in M} \Phi_N(x)$, де $\Phi_N(x)$ визначається за формулою (6.9), співпадають.

Теорема 6.2 дає інструмент для встановлення точного значення штрафного множника при використанні для розв'язання задачі (6.5) негладкої штрафної функції у формі функції максимуму.

Проілюструємо його для задачі нелінійного програмування, яка має такий вигляд

$$F^* = \max_x \sum_{j=1}^n c_j x_j \quad (6.10)$$

$$\sum_j a_{ij} x_j + \Omega \sqrt{\sum_{j \in J_i} \hat{a}_{ij}^2 x_j^2} \leq b_i, \quad i = 1, \dots, m, \quad (6.11)$$

$$x_j \geq 0, \quad j = 1, \dots, n. \quad (6.12)$$

де $\Omega \geq \sqrt{|J_i|}$, де $|J_i|$ – потужність множини J_i , $\hat{a}_{ij} > 0$ – збурення a_{ij} . Якщо усі b_i , $i = 1, \dots, m$ є додатними, то задача (6.10) – (6.12) може бути записана в еквівалентній формі:

$$-F^* = \min_x \sum_{j=1}^n -c_j x_j, \quad (6.13)$$

$$\frac{1}{b_i} \sum_j a_{ij} x_j + \frac{\Omega}{b_i} \sqrt{\sum_{j \in J_i} \hat{a}_{ij}^2 x_j^2} \leq 1, \quad i = 1, \dots, m, \quad (6.14)$$

$$x_j \geq 0, \quad j = 1, \dots, n. \quad (6.15)$$

Нехай для врахування обмеження (6.14) використовується негладка штрафна функція у формі функції максимуму:

$$\Phi_N(x) = \sum_{j=1}^n -c_j x_j + N \max \left\{ 0, \max_{i=1, \dots, m} \left\{ \frac{1}{b_i} \sum_j a_{ij} x_j + \frac{\Omega}{b_i} \sqrt{\sum_{j \in J_i} \hat{a}_{ij}^2 x_j^2} - 1 \right\} \right\}, \quad (6.16)$$

де $N > 0$ – штрафний параметр.

Теорема 6.3 При $N > F^*$ задача (6.13) – (6.15) еквівалентна задачі

$$F^* = \min_{x \geq 0} \Phi_N(x). \quad (6.17)$$

Доведення. Обчислимо L , яке згідно теореми 7.2 визначає скінченне значення штрафного параметра $N > L$, при якому задача (6.16) еквівалентна задачі (6.13) – (6.15). Для цього розглянемо сімейство параметричних задач

$$V(t) = \inf_x \left\{ \sum_{j=1}^n -c_j x_j : \frac{1}{b_i} \sum_j a_{ij} x_j + \frac{\Omega}{b_i} \sqrt{\sum_{j \in J_i} \hat{a}_{ij}^2 x_j^2} \leq 1+t, i=1, \dots, m, x_j \geq 0, j=1, \dots, n \right\},$$

залежне від параметра $t \in R$. Очевидно, що

$$V(0) = \inf_x \left\{ \sum_{j=1}^n -c_j x_j : \frac{1}{b_i} \sum_j a_{ij} x_j + \frac{\Omega}{b_i} \sqrt{\sum_{j \in J_i} \hat{a}_{ij}^2 x_j^2} \leq 1, i=1, \dots, m, x_j \geq 0, j=1, \dots, n \right\}$$

співпадає з розв'язком задачі (6.13) – (6.15), звідки $V(0) = -F^*$.

Сімейство задач $V(t)$ при $t > 0$ можна записати у такий спосіб:

$$\begin{aligned} V(t) &= \inf_x \left\{ \sum_{j=1}^n -c_j x_j : \frac{1}{b_i} \sum_j a_{ij} x_j + \frac{\Omega}{b_i} \sqrt{\sum_{j \in J_i} \hat{a}_{ij}^2 x_j^2} \leq 1+t, i=1, \dots, m, x_j \geq 0, j=1, \dots, n \right\} = \\ &= \inf_x \left\{ \sum_{j=1}^n -c_j \frac{x_j}{1+t} : \frac{1}{b_i} \sum_j a_{ij} x_j + \frac{\Omega}{b_i} \sqrt{\sum_{j \in J_i} \hat{a}_{ij}^2 \left(\frac{x_j}{1+t} \right)^2} \leq 1, i=1, \dots, m, \frac{x_j}{1+t} \geq 0, j=1, \dots, n \right\}, \end{aligned}$$

звідки, зробивши заміну змінних $\tilde{x}_j = \frac{x_j}{1+t}$, маємо

$$\begin{aligned} V(t) &= \\ &= (1+t) \inf_{\tilde{x}} \left\{ \sum_{j=1}^n -c_j \tilde{x}_j : \frac{1}{b_i} \sum_j a_{ij} \tilde{x}_j + \frac{\Omega}{b_i} \sqrt{\sum_{j \in J_i} \hat{a}_{ij}^2 \tilde{x}_j^2} \leq 1+t, i=1, \dots, m, \tilde{x}_j \geq 0, j=1, \dots, n \right\} = \\ &= (1+t)V(0). \end{aligned}$$

У результаті маємо

$$-L = \inf_{t>0} \frac{V(t) - V(0)}{t} = \inf_{t>0} \frac{(1+t) - 1}{t} V(0) = V(0),$$

звідки, з урахуванням того, що $V(0) = -F^*$, отримуємо $L = -V(0) = F^*$. **Теорема доведена.**

Метод негладких штрафних функцій можна успішно застосовувати для отримання локальних екстремумів в задачах нелінійного програмування загального вигляду:

знайти

$$\min_{x \in R^n} f_0(x) \quad (6.18)$$

при обмеженнях вигляду

$$\varphi_i(x) \leq 0, \quad i = 1, \dots, m, \quad \psi_j(x) \leq 0, \quad j = 1, \dots, l, \quad (6.19)$$

шляхом заміни її задачею мінімізації функції

$$S(x) = f_0(x) + \sum_{i=1}^m c_i \max(0, \varphi_i(x)) + \sum_{j=1}^l d_j |\psi_j(x)|. \quad (6.20)$$

При достатньо великих c_i та d_j в умовах існування множників Лагранжа в задачі (6.18) – (6.19) задача (6.20) еквівалентна задачі (6.18) – (6.19).

Використання негладких штрафних функцій призводить до задач мінімізації функцій яружного виду. Для їх розв'язання рекомендується використовувати алгоритми з розтягом простору в напрямку різниці двох послідовних градієнтів, або так звані r -алгоритми. У пункті 6.1.1 наведений опис варіанта r -алгоритму з адаптивним кроком, який найчастіше використовується при розв'язанні подібних задач.

6.2 Параметризований метод еліпсоїдів

Описано алгоритм **em2023b** – параметричну версію методу еліпсоїдів з масштабуванням простору за скалярним параметром $\lambda > 0$. Для певних значень параметра λ отримані існуючі варіанти методу еліпсоїдів, а саме Н.З. Шора [6], А.С. Немировського та Д.Б. Юдіна [7], Л.Г. Хачіяна [8, лема 4], а також новий варіант методу еліпсоїдів [9]. Наведено застосування **em2023b** до задач опуклого програмування та до проблеми сідлової точки опукло-увігнутої функції.

6.2.1 В-форма параметризованого методу еліпсоїдів

Задача. Нехай задано відображення $g: \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}^n$. Припустимо, що існує така точка $x^* \in \mathbb{R}^n$, що $g(x)^\top (x - x^*) \geq 0$ для всіх $x \in \mathbb{R}^n$ і $g(x) \neq 0$ для всіх $x \neq x^*$. Не обмежуючи загальності, будемо вважати, що x^* – єдина точка. Для знаходження наближення до точки x^* можна використовувати метод еліпсоїдів та його параметризовані версії.

Алгоритм em2023b - В-форма параметризованого методу еліпсоїдів

Крок 0. Вибираємо точку $x_0 \in \mathbb{R}^n$, несингулярну матрицю $B_0 \in \mathbb{R}^{n \times n}$ і радіус $r_0 > 0$ такими, щоб $\|B_0^{-1}(x_0 - x^*)\| \leq r_0$. Крім того, вибираємо $\lambda > 0$ і вважаємо, що $k := 0$.

Крок 1. Обчислимо $g(x_k)$. Якщо $g(x_k) = 0$, то ЗУПИНКА: $k^* := k$, $x^* := x_k$.

Крок 2. Обчислимо $x_{k+1} := x_k - h_k B_k \xi_k$, де $\xi_k := \frac{B_k^\top g(x_k)}{\|B_k^\top g(x_k)\|}$, $h_k := \frac{1}{n+1} r_k$.

Крок 3. Обновимо

$$B_{k+1} := \lambda \left(B_k + \left(\sqrt{\frac{n-1}{n+1}} - 1 \right) (B_k \xi_k) \xi_k^\top \right) \quad \text{і} \quad r_{k+1} := \frac{1}{\lambda} \frac{n}{\sqrt{n^2 - 1}} r_k.$$

Крок 4. Встановимо $k := k + 1$ і перейдемо до Кроку 1.

На кожній ітерації алгоритма обновляється матриця B_k , яка пов'язана із заміною змінних $x = B_k y$, де $y = A_k x$ – відображення точки x в перетвореному просторі змінних, $A_k = B_k^{-1}$. Очевидно, що оновлення B -матриці (див. Крок 3) потребує $O(n^2)$ операцій. Це обумовлено використанням параметру $\lambda > 0$ та оператора розтягу простору $R_\alpha(\xi): \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}^n$, який визначається як

$$R_\alpha(\xi) := I_n + (\alpha - 1) \xi \xi^\top, \quad (6.21)$$

де $\xi \in \mathbb{R}^n$, $\|\xi\| = 1$ – напрям розтягу, а $I_n \in \mathbb{R}^{n \times n}$ – одинична матриця. Властивості оператора розтягу простору (6.21) детально вивчені в [1]. Вважаючи, що

$\beta := 1 / \alpha$, а оператор «оберненого» розтягу позначений як $R_\alpha^{-1}(\xi)$, отримаємо $R_\alpha^{-1}(\xi) = R_\beta(\xi)$ і $B_{k+1} = \lambda B_k R_\beta(\xi_k)$. Останній вираз характеризує роль оператора розтягу простору для оновлення B -матриці, де використовується $\alpha = \sqrt{\frac{n+1}{n-1}}$.

Теорема 6.4. Послідовність точок $\{x_k\}$, яку генерує алгоритм **em2023b**, задовольняє нерівності

$$\|A_k(x_k - x^*)\| = \|B_k^{-1}(x_k - x^*)\| \leq r_k, \quad k \in \mathbb{N}. \quad (6.22)$$

Детальне доведення теореми 6.4 наведено в статті [10].

Множина точок x , яка задовільняє нерівності (6.22), є еліпсоїдом $\mathcal{E}_k := \{x \mid \|B_k^{-1}(x_k - x)\| \leq r_k\}$, що містить точку x^* . Він має об'єм $\text{vol}(\mathcal{E}_k) = \frac{v_0 r_k^n}{\det A_k}$, де v_0 – об'єм одиничної n -вимірної кулі, $\det A_k$ – визначник матриці A_k .

Отже, швидкість збіжності алгоритму **em2023b** визначатиметься відношенням об'єму еліпсоїда $\mathcal{E}_{k+1}$, що локалізує точку x^* на $(k+1)$ -й ітерації, до об'єму еліпсоїда $\mathcal{E}_k$, що локалізує x^* на k -й ітерації.

Теорема 6.5 [10]. Нехай x_k і x_{k+1} згенеровані алгоритмом **em2023b**. Тоді відношення об'ємів еліпсоїдів $\mathcal{E}_{k+1}$ і $\mathcal{E}_k$ не залежить від k і дорівнює

$$q_n := \frac{\text{vol}(\mathcal{E}_{k+1})}{\text{vol}(\mathcal{E}_k)} = \sqrt{\frac{n-1}{n+1}} \left(\frac{n}{\sqrt{n^2-1}} \right)^n < \exp\left\{-\frac{1}{2n}\right\} < 1. \quad (6.23)$$

Крім того, $x^* \in \mathcal{E}_k$ для всіх $k \in \mathbb{N}$.

Згідно теореми 6.5 за формулою (6.23) маємо $q_n < \exp\left\{-\frac{1}{2n}\right\} < 1$, що означає, що для великих n коефіцієнт зменшення об'єму апроксимується асимптотичною формулою $q_n \approx 1 - \frac{1}{2n}$. Тому, для того, щоб в 10 разів зменшити об'єм еліпсоїда, який локалізує точку x^* , потрібно зробити K ітерацій, де $K = -\frac{\ln 10}{\ln q_n} \approx (2 \ln 10)n \approx 4.6n$.

Враховуючи, що теорема 6.4 та теорема 6.5 справедливі для будь-якого параметра $\lambda \in (0, \infty)$, то із алгоритму **em2023b** можна отримати як відомі так і нові варіанти методів еліпсоїдів, просто адаптувавши цей λ . Так, наприклад, для методу еліпсоїдів Шора [6] достатньо вибрати $\lambda = 1$, при якому формули для кроку 3 будуть мати вигляд

$$B_{k+1} := B_k + \left(\sqrt{\frac{n-1}{n+1}} - 1 \right) (B_k \xi_k) \xi_k^\top \quad \text{і} \quad r_{k+1} := \frac{n}{\sqrt{n^2-1}} r_k,$$

які є найекономнішими за кількістю арифметичних операцій. Для методу еліпсоїдів Хачіяна [8] достатньо вибрати $\lambda = \frac{n}{\sqrt{n^2-1}}$, при цьому формули для кроку 3 будуть мати вигляд

$$B_{k+1} := \frac{n}{\sqrt{n^2-1}} \left(B_k + \left(\sqrt{\frac{n-1}{n+1}} - 1 \right) (B_k \xi_k) \xi_k^\top \right) \quad \text{і} \quad r_{k+1} := r_k,$$

які гарантують постійну величину кроку у перетвореному просторі на кожній ітерації алгоритму 1. Варіанту методу еліпсоїдів Немировського та Юдіна [7]

відповідає $\lambda = \left(\frac{n+1}{n-1} \right)^{\frac{1}{2n}}$, при якому для кроку 3 маємо наступні формули:

$$B_{k+1} := \left(\frac{n+1}{n-1} \right)^{\frac{1}{2n}} \left(B_k + \left(\sqrt{\frac{n-1}{n+1}} - 1 \right) (B_k \xi_k) \xi_k^\top \right) \quad \text{і} \quad r_{k+1} := \left(\frac{n-1}{n+1} \right)^{\frac{1}{2n}} \frac{n}{\sqrt{n^2-1}} r_k.$$

У статті [9] наведено варіант методу еліпсоїдів, для якого $\lambda = \left(\frac{n}{\sqrt{n^2-1}} \right)^{\frac{3}{2}}$

та формули для кроку 3 мають такий вигляд

$$B_{k+1} := \left(\frac{n}{\sqrt{n^2-1}} \right)^{\frac{3}{2}} \left(B_k + \left(\sqrt{\frac{n-1}{n+1}} - 1 \right) (B_k \xi_k) \xi_k^\top \right) \quad \text{і} \quad r_{k+1} := \left(\frac{n}{\sqrt{n^2-1}} \right)^{\frac{1}{2}} r_k.$$

Усі варіанти (з різними λ) теоретично еквівалентні, хоча невеликі відмінності можуть спостерігатися через накопичення помилок обчислень.

6.2.2 Приклади застосування параметризованого методу еліпсоїдів

Нижче наведено опис трьох задач, для розв'язання яких можна використовувати алгоритм **em2023b**

Задача 1. Мінімізація опуклої функції. Метод еліпсоїдів можна використовувати для знаходження x^* – точки мінімуму опуклої функції $f: \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}$. Мінімальне значення f позначається як $f^* := f(x^*)$. Для простоти припустимо, що x^* є єдиним мінімізатором f . Щоб застосувати алгоритм **em2023b** до щойно описаної проблеми мінімізації, розглянемо відображення $g: \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}^n$, яке використовується в підрозділі 6.1 та буде спеціалізовано на $g_f: \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}^n$, де $g_f(x)$ є субградієнтом f від x , що означає

$$\langle x - x^*, g_f(x) \rangle \geq f(x) - f(x^*) = f(x) - f^* \geq 0 \text{ для всіх } x \in \mathbb{R}^n \quad (6.24)$$

Крім того, порівняно з алгоритмом **em2023b**, на кроці 1 можна використовувати більш відповідний критерій завершення, який гарантує, що алгоритм не зупиняється раніше, ніж

$$f(x_k) \leq f^* + \varepsilon \quad (6.25)$$

виконується для деякого попередньо визначеного $\varepsilon > 0$. Цей критерій виводиться наступним чином. Для будь-яких $(x_k, B_k, r_k) \in \mathbb{R}^n \times \mathbb{R}^{n \times n} \times (0, \infty)$, згенерованих алгоритмом 1, отримуємо

$$\begin{aligned} f(x_k) - f^* &\leq \langle x_k - x^*, g_f(x_k) \rangle = \langle B_k^{-1}(x_k - x^*), B_k^T g_f(x_k) \rangle \leq \\ &\leq \|B_k^{-1}(x_k - x^*)\| \|B_k^T g_f(x_k)\| \leq r_k \|B_k^T g_f(x_k)\|, \end{aligned}$$

де перша нерівність випливає з (6.24), а остання є наслідком $x^* \in E_k$ згідно з теоремою 6.1. Отже, $r_k \|B_k^T g_f(x_k)\| \leq \varepsilon$, то випливає, що (6.25) виконується.

Для задачі мінімізації опуклої функції метод еліпсоїдів Шора ($\lambda = 1$) реалізовано програмою **emshor** (ellipsoid method of **Shor**) мовою Octave [9]. Вона використовує octave-функцію **function [f, g] = calcfg (x)**, яка обчислює значення функції $f = f(x)$ та її субградієнт $g = g(x)$ в точці x . Ця функція

створюється користувачем і може мати довільне ім'я, яке підтримує синтаксис Octave.

Задача 2. Задача опуклого програмування. Розглянемо задачу з обмеженнями

$$\min_{x \in \mathbb{R}^n} f_0(x) \quad (6.26)$$

при обмеженнях

$$f_i(x) \leq 0, \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad (6.27)$$

де для $i = 0, 1, \dots, m$ функції $f_i : \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}$ є опуклими і $g_i : \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}^n$ позначає відображення так, що $g_i(x)$ є субградієнтом f в x . Припустимо, що задача (6.26), (6.27) має єдиний розв'язок x^* і для неї виконується умова Слейтера. Крім того, нехай відображення $g : \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}^n$ визначається як

$$g(x) = g_{i(x)}(x),$$

де відображення $x \rightarrow i(x)$ задовольняє умови

$$\begin{aligned} i(x) &= 0, & \text{якщо } f_1(x) \leq 0, \dots, f_m(x) \leq 0, \\ i(x) &\in \{i \mid f_i(x) > 0\}, & \text{якщо } \max\{f_1(x), \dots, f_m(x)\} > 0. \end{aligned} \quad (6.28)$$

Далі, можна побачити, що $\langle x - x^*, g(x) \rangle \geq 0$ справедливо для всіх $x \in \mathbb{R}^n$.

Для цього спочатку розглянемо випадок, коли x задовольняє $\max\{f_1(x), \dots, f_m(x)\} \leq 0$. Відповідно до (6.28) маємо $g(x) = g_0(x)$. Крім того, враховуючи $f_0(x) \geq f_0(x^*)$ і опуклість f маємо

$$\langle x - x^*, g(x) \rangle = \langle x - x^*, g_0(x) \rangle \geq f_0(x) - f_0(x^*) \geq 0.$$

Якщо інакше, $\max\{f_1(x), \dots, f_m(x)\} > 0$, то з (6.28) випливає $f_j(x) > 0$ при $j := i(x)$. Враховуючи опуклість f_j і те, що $f_j(x^*) \leq 0$, отримаємо

$$\langle x - x^*, g(x) \rangle = \langle x - x^*, g_j(x) \rangle \geq f_j(x) - f_j(x^*) \geq 0.$$

Отже, $\langle x - x^*, g(x) \rangle \geq 0$ справедливо для всіх $x \in \mathbb{R}^n$.

Задача 3. Сідлові точки опукло-увігнутих функцій. Нехай $f: \mathbb{R}^n \times \mathbb{R}^m \rightarrow \mathbb{R}$ є опукло-ввігнутою функцією, тобто $f(\cdot, y): \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}$ є опуклою для будь-якого $y \in \mathbb{R}^m$ і $f(x, \cdot): \mathbb{R}^m \rightarrow \mathbb{R}$ є ввігнутою для будь-якого $x \in \mathbb{R}^n$. Пара $z^* := (x^*, y^*) \in \mathbb{R}^n \times \mathbb{R}^m$ називається сідловою точкою f , якщо

$$f(x^*, y) \leq f(x^*, y^*) \leq f(x, y^*) \text{ для всіх } (x, y) \in \mathbb{R}^n \times \mathbb{R}^m.$$

Крім того, з $z := (x, y)$, нехай множина $G_x(z) \subset \mathbb{R}^n$ містить всі субградієнти $f(\cdot, y)$ відносно x , тоді як $G_y(z) \subset \mathbb{R}^m$ містить всі суперградієнти $f(x, \cdot)$ відносно y . Виходячи з цього, ми можемо визначити відображення $g: \mathbb{R}^n \times \mathbb{R}^m \rightarrow \mathbb{R}^n \times \mathbb{R}^m$ за допомогою

$$g(z) := \begin{pmatrix} g_x(z) \\ -g_y(z) \end{pmatrix} \text{ з } (g_x(z), g_y(z)) \in G_x(z) \times G_y(z).$$

За наведеним вище визначенням сідлової точки та за опуклістю функцій $f(\cdot, y)$ і $-f(x, \cdot)$ для будь-яких фіксованих y та x , відповідно, випливає, що

$$\begin{aligned} 0 &\leq f(x, y^*) - f(x^*, y) = f(x, y^*) - f(x, y) + f(x, y) - f(x^*, y) \leq \\ &\leq -\langle g_y(z), y - y^* \rangle + \langle g_x(z), x - x^* \rangle = \langle g(z), z - z^* \rangle. \end{aligned}$$

Отже, $\langle g(z), z - z^* \rangle \geq 0$ виконується для всіх $z \in \mathbb{R}^n \times \mathbb{R}^m$, тому параметричний метод еліпсоїдів може бути використаний для апроксимації сідлової точки z^* .

6.2.3 Octave програма emshor

Для задачі мінімізації опуклої функції метод еліпсоїдів Шора реалізовано програмою **emshor** (ellipsoid method of **Shor**) мовою Octave. Вона використовує octave-функцію **function [f, g] = calcfg (x)**, яка обчислює значення функції $f = f(x)$ та її субградієнт $g = g(x)$ в точці x . Ця функція створюється користувачем і може мати довільне ім'я, яке підтримує синтаксис Octave. Код програми, що містить короткі коментарі, наведений нижче:

```

# Input parameters:
# calcfg - name of the function for calculation of f and g
# x0 - starting point, x0(1:n)
# r0 - the radius of the ball localizing the minimum point
# epsf, maxitn - stop parameters (accuracy, max. iter.)
# intp - printing interval (after each intp iterations)
# Output parameters:
# x - approximation of the minimum point, x(1:n)
# f - value of function f at the point x
# itn - number of iterations performed
# ist - exit code (1=epsf, 4=maxitn)
function[x,f,itn,ist]=emshor(cfg,x0,r0,epsf,maxitn,intp); #row01
n=length(x0); x=x0; B=eye(n); r=r0; #row02
dn=double(n); beta=sqrt((dn-1.0)/(dn+1.0)); #row03
for (itn=0:maxitn) #row04
    [f,g1]=cfg(x); g=B'*g1; dg=norm(g); #row05
    if(mod(itn,intp)==0)&&(intp<=maxitn) #row06
        printf("itn %4d f %14.6e\n",itn,f); #row07
    endif #row08
    if(r*dg<epsf) ist=1; return; endif #row09
    xi=(1.0/dg)*g; dx=B*xi; #row10
    hs=r/(dn+1.0); x-=hs*dx; #row11
    B+=(beta-1.0)*B*xi*xi'; #row12
    r=r/sqrt(1.0-1.0/dn)/sqrt(1.0+1.0/dn); #row13
endfor #row14
ist=4; #row15
endfunction #row16

```

В програмі ітераційний процес виконується в циклі **for** (рядки 04–14), де рядки 05–09 виконують Крок 1 алгоритму **emshor**, рядки 10–11 – Крок 2, а рядки 12–13 – Крок 3. Після кожних **intp** ітерацій в циклі **for** виводяться проміжні результати (див. рядки 06–08). Програма **emshor** завершується виконанням однієї з двох умов: 1) знайдена точка x_ε^* – така, що $f(x_\varepsilon^*) \leq f^* + \varepsilon$ (**ist=1**, див. рядок 09); 2) досягнуто **maxitn** – максимальна кількість ітерацій (**ist=4**, див. рядки 04 і 15).

Роботу програми **emshor** продемонстровано на прикладах мінімізації двох опуклих кусково-лінійних функцій

$$f_1(x) = \sum_{i=1}^n i|x_i - 1| \quad \text{и} \quad f_2(x) = \sum_{i=1}^n 2^{i-1}|x_i - 1|, \quad (6.29)$$

для яких $f_1^* = f_1(x^*) = f_2^* = f_2(x^*) = 0$, $x^* = (1, 1, \dots, 1)^T$. Тут функція $f_2(x)$ є яружною і ступінь витягнутості поверхонь рівня для неї визначається відношенням

максимального коефіцієнта при $|x_i - 1|$ до мінімального (див. формули (6.29)). Якщо $n = 20$, то мінімальний коефіцієнт дорівнює $(2)^0 = 1$, а максимальний – $(2)^{19} \approx 5.24288\text{e}+05$.

В таблицях 6.1 і 6.2 наведені результати роботи програми **emshor** для стартової точки $x_0 = (0, 0, \dots, 0)^T$ і двох значень радіусів кулі, в якій локалізована точка мінімуму, $r_0 \in \{5, 500\}$. Перший радіус $r_0 = 5$ вибрано такого ж порядку, як і відстань від центру кулі до точки мінімуму, а другий радіус $r_0 = 500$ вибрано дуже (в сто разів) завищеним відносно відстані до точки мінімуму. Були проведені розрахунки для $n \in \{5, 10, 15, 20\}$ при різних значеннях $\varepsilon \in \{10^{-5}, 10^{-6}, 10^{-10}\}$. Обчислення проводились на комп'ютері Pentium 7.35GHz в системі Windows XP за допомогою GNU Octave версії 3.0.0.

В таблицях 6.1 і 6.2 наведені такі характеристики роботи програми **emshor**: кількість затрачених ітерацій (*itn*), значення функцій $f_1(x_{itn})$ і $f_1(x_{itn})$ на останніх ітераціях, час обчислення (*time*) в секундах. Таблиця 7.1 характеризує обчислювальні витрати програми для мінімізації «неяружної» функції $f_1(x)$ при двох значеннях точності – $\varepsilon = 10^{-5}$ і $\varepsilon = 10^{-10}$. В таблиці 6.2 дано порівняння обчислювальних витрат програми для мінімізації «неяружної» функції $f_1(x)$ і обчислювальних витрат програми для мінімізації яружної функції $f_2(x)$ при одному і тому ж значенні точності $\varepsilon = 10^{-6}$.

Таблиця 6.1 – Характеристики роботи програми **emshor**

	$r_0 = 5, \quad \varepsilon = 10^{-5}$			$r_0 = 5, \quad \varepsilon = 10^{-10}$		
n	<i>itn</i>	$f_1(x_{itn})$	<i>time</i>	<i>itn</i>	$f_1(x_{itn})$	<i>time</i>
5	710	1.6e-06	0.24	1256	7.37e-12	0.40
10	3090	8.6e-07	0.97	5423	9.2e-12	1.76
15	7257	1.7e-08	7.333	12505	7.4e-13	4.13
20	13131	7.0e-07	4.28	22510	7.34e-12	7.53

	$r_0 = 500, \quad \varepsilon = 10^{-5}$			$r_0 = 500, \quad \varepsilon = 10^{-10}$		
n	itn	$f_1(x_{itn})$	$time$	itn	$f_1(x_{itn})$	$time$
5	956	1.6e-06	0.32	1530	3.6e-12	0.48
10	4042	7.9e-08	1.28	6293	9.0e-12	7.300
15	9337	7.3e-07	3.00	14561	7.6e-12	4.71
20	16951	4.8e-07	7.54	26085	3.0e-12	8.57

Таблиця 6.2 – Характеристики роботи програми **emshor**

	$r_0 = 5, \quad \varepsilon = 10^{-6}$			$r_0 = 5, \quad \varepsilon = 10^{-6}$		
n	itn	$f_1(x_{itn})$	$time$	itn	$f_2(x_{itn})$	$time$
5	821	1.6e-07	0.27	873	1.1e-07	0.27
10	3598	8.5e-08	1.13	3829	7.2e-08	1.22
15	8279	7.32e-09	7.365	9641	7.4e-08	3.11
20	15031	4.3e-08	4.91	18711	4.3e-08	7.16
	$r_0 = 500, \quad \varepsilon = 10^{-6}$			$r_0 = 500, \quad \varepsilon = 10^{-6}$		
n	itn	$f_1(x_{itn})$	$time$	itn	$f_2(x_{itn})$	$time$
5	1069	1.6e-07	0.35	1080	1.6e-07	0.34
10	4469	8.3e-08	1.41	4810	9.3e-08	1.53
15	10328	7.33e-09	3.31	11741	7.1e-08	3.79
20	18719	4.4e-08	7.11	22434	4.3e-08	7.38

З таблиць видно, що з допомогою програми **emshor** можна знайти досить точні наближення до точки мінімуму яружної опуклої функції від декількох десятків змінних. Наприклад, якщо $n = 20$, то для цього потрібно кілька секунд на

сучасних персональних ЕОМ. При цьому кількість ітерацій слабо залежить від точності ε і r_0 – радіусу кулі локалізації точки мінімуму. Швидкість збіжності алгоритму **emshor** практично не залежить від яружності (ступеня витягнутості поверхонь рівня) опуклої функції.

6.3 Методи локального пошуку

6.3.1 Метод вектора спаду

Розглянемо таку задачу дискретної оптимізації: знайти

$$\min_{x \in G} f(x), \quad (6.30)$$

де G – множина (скінченна або зчисленна) допустимих розв'язків задачі, а $f(x)$ – визначена на ній цільова функція. Передбачається, що на множині G задана система околів N , тобто кожному допустимому розв'язку $x \in G$ поставлена у відповідність множина $N(x) \subset N \subset G$, причому $x \in N(x)$.

Означення 6.2. Точку $x \in G$ назовемо точкою локального мінімуму функції $f(x)$ відносно околу $N(x)$, якщо цей окіл не вироджений ($N(x) \setminus \{x\}$ – непорожня множина) і для будь-якої його точки y виконується умова $f(x) \leq f(y)$.

Всі відомі методи локальної оптимізації засновані на єдиному підході до пошуку розв'язків задачі, який полягає в поліпшенні отриманого розв'язку шляхом пошуку серед тих елементів множини G , що належать деякому околу цього розв'язку. Загальна схема методів локального пошуку може бути представлена у вигляді такої процедури:

```

procedure   локальний_пошук
[
    початкова_установка ( $s, x^s$ )
    while пошук_покращення ( $x^s$ )  $\neq$  "ні" do
        [
             $x^{s+1}$  = пошук_покращення( $x^s$ )
             $s = s + 1$ 
        ]
    comment знайдено локальний мінімум  $x^s$ .

```

Процедури початкова_установка(s, x^s) і пошук_покращення(x^s) визначаються таким чином:

procedure початкова_установка(s, x^s)

кількість ітерацій $s = 0$
 вибір деякої початкової точки $x^0 \in G$.

пошук_покращення(x^s) = $\begin{cases} \text{будь-якому розв'язку } y \in N(x^s): f(y) < f(x^s), \\ \text{якщо такий розв'язок існує;} \\ \text{"ні"} - \text{ у протилежному випадку.} \end{cases}$

До групи методів, що використовують процедури локального пошуку, відносяться, зокрема, методи вектора спаду [11, 12] та глобального рівноважного пошуку [12, 13]. Загальною проблемою для цих методів є вибір ефективної стратегії пошуку, правильного поєднання процесів розширення і звуження області пошуку з метою отримання глобального оптимуму.

Схема методу вектора спаду дозволяє створювати цілий спектр алгоритмів для розв'язання конкретних задач вигляду (6.30) і після проведення відповідного аналізу вибирати найбільш придатний із них.

Введемо поняття вектора спаду значень цільової функції f в околі деякої точки $x \in G$. Нехай для $k = 1, \dots, r$, $r \geq 1$, задано системи околів $N^k(x)$ такі, що $\forall x \in G: N^j(x) \subset N^i(x)$ при $j < i$.

Означення 6.3. Векторна функція $\Delta^k(x)$, визначена для кожної точки $x \in G$ і її околу $N^k(x)$, $k = 1, \dots, r$, називається вектором спаду функції f відносно околу $N^k(x)$, якщо виконуються умови:

- значення функції $\Delta^k(x)$ у будь-якій точці $x \in G$ є q -вимірним ($q = q(k, x) \leq |N^k(x)|$) вектором з координатами $\Delta_1^k(x), \dots, \Delta_q^k(x)$ – дійсними числами;
- деяка точка $x \in G$ є точкою локального мінімуму функції f відносно околу $N^k(x)$ тоді і тільки тоді, коли $\Delta_i^k(x) \geq 0$ при всіх $i = 1, \dots, q$;
- якщо деяка точка $x \in G$ не є точкою локального мінімуму функції f

відносно околу $N^k(x)$, то за допомогою вектора спаду можна визначити точку $y \in N^k(x)$ таку, що $f(y) < f(x)$.

Виходячи з даного означення, робимо висновок, що вектор $\Delta^k(x)$ дозволяє для кожної точки $x \in G$ визначити напрями зменшення («спаду») значень функції f в околі $N^k(x)$. Ідея використання вектора спаду $\Delta^k(x)$ для відшукування таких напрямів і лежить в основі однойменного методу. Слід зазначити, що часто координати $\Delta_1^k(x), \dots, \Delta_q^k(x)$ вектора спаду можна обчислити набагато простіше, ніж самі значення функції f в точках околу $N^k(x)$. Крім того, у більшості випадків для виявлення в $N^k(x)$ точки y , такої, що $f(y) < f(x)$, або для встановлення факту локальної мінімальності значення $f(x)$ достатньо обмежитися розглядом лише частини координат вектора $\Delta^k(x)$.

Подамо загальну схему методу вектора спаду таким чином:

```

procedure   вектор спаду
[
  початкова_установка( $s, x^s, s_{\max}, r$ )
  while ( $s < s_{\max}$ ) do
    [
       $k = 1$ 
      while ( $k \leq r$ ) do
        [
          if (пошук_покращення( $x^s, \Delta^k(x^s)$ )) = "нет" then
            [
               $k = k + 1$ 
            ]
          else
            [
               $x^{s+1} = \text{пошук\_покращення}(x^s, \Delta^k(x^s))$ 
               $s = s + 1$ 
               $k = 1$ 
            ]
           $x^{s+1} = \text{нова\_точка}(x^s)$ 
           $s = s + 1$ 
        ]
      comment   новий старт локального пошуку.
    ]
  ]

```

Процедури «початкова_установка», «пошук_покращення» і «нова_точка» визначаються таким чином:

procedure початкова_установка $(s, x^s, s_{\max}, r)$

$$\left[\begin{array}{l} \text{кількість ітерацій } s = 0 \\ \text{вибір деякої початкової точки } x^0 \in G, \\ \text{задання максимального числа } s_{\max} \text{ ітерацій і} \\ \text{максимального номера } r \text{ околу;} \end{array} \right.$$

пошук_покращення $(x^s, \Delta^k(x^s))$

$$= \left\{ \begin{array}{l} \text{будь-якому розв'язку } y \in N^k(x^s): f(y) < f(x^s), \\ \text{якщо } \exists i: \Delta_i^k(x^s) < 0, \quad 1 \leq i \leq q(k, x^s); \\ \text{"ні"} - \text{у протилежному випадку;} \end{array} \right.$$

нова_точка (x^s)

$$= \left\{ \begin{array}{l} \text{будь-якому розв'язку } y \in N^k(x^s): f(y) < f(x^s), \\ \text{якщо } r < k \leq R, \exists i: \Delta_i^k(x^s) < 0, \quad 1 \leq i \leq q(k, x^s); \\ \text{будь-якому розв'язку } y \in G, \text{ вибраному випадковим чином,} - \\ \text{у протилежному випадку.} \end{array} \right.$$

Відзначимо, що в методі вектора спаду питання про диверсифікацію і інтенсифікацію локального пошуку розв'язуються таким чином: після відшукування точки локального мінімуму розглядається окіл з номером, більшим за максимальний (інтенсифікація), або здійснюється перехід у нову початкову точку (диверсифікація).

На основі наведеної вище загальної схеми методу вектора спаду можна побудувати наступні алгоритми.

Алгоритм I

Вибираємо деяке початкове наближення $x^0 \in G$ (випадково або враховуючи особливості розв'язуваної задачі) і задаємо величину радіуса $r > 0$. Покладаємо $k = 0$.

На $(k + 1)$ -у кроці алгоритму виконуємо такі дії.

Розглядаємо окіл $N^r(x^k)$. Якщо він вироджений, то для застосування алгоритму необхідно або збільшити радіус r , або вибрати інше початкове наближення x^0 . Якщо окіл $N^r(x^k)$ не вироджений, переходимо до п.2 алгоритму.

За значеннями координат вектора спаду $\Delta^r(x^k)$ визначаємо, чи є x^k точкою локального мінімуму функції $f(x)$ щодо околу радіуса r . Якщо так, то робота за алгоритмом закінчується, інакше – до п.3.

За значеннями координат вектора спаду знаходимо точку $x^{k+1} \in N^r(x^k)$ яка задовольняє умову $f(x^{k+1}) < f(x^k)$. Замінюючи k на $k+1$, переходимо до п.1.

Алгоритм II

Вибираємо початкове наближення $x^0 \in G$, задаємо радіус $r > 0$ і послідовність радіусів $r_1, \dots, r_m$, таких, що $0 < r_1 < \dots < r_m = r$, $m \geq 1$. Покладаємо $k = 0$.

На $(k + 1)$ -у кроці алгоритму виконуємо такі дії.

2. Покладаємо $j = 1$.

F13 Якщо окіл $N^{r_j}(x^k)$, що розглядається, є виродженим, то при $j = m$ для подальшого застосування даного алгоритму необхідно збільшити радіус r або вибрати інше початкове наближення. При $j < m$ замінюємо j на $j + 1$ і знову виконуємо даний пункт алгоритму.

F14У випадку, коли окіл $N^{r_j}(x^k)$ не вироджений, за значеннями координат вектора $\Delta^{r_j}(x^k)$ з'ясовуємо, чи є значення $f(x^k)$ локальним мінімумом функції $f(x)$ щодо околу радіуса r_j . Якщо так, то при $j < m$, замінивши j на $j + 1$, переходимо до початку п. 3, а при $j = m$ робота за алгоритмом закінчується, оскільки x^k є шуканою точкою локального мінімуму функції $f(x)$ в околі радіуса r .

F15Якщо ж x^k не є точкою локального мінімуму, то за значеннями координат вектора спаду $\Delta^{r_j}(x^k)$ знаходимо в множині $N^{r_j}(x^k)$ точку x^{k+1} , для якої $f(x^{k+1}) < f(x^k)$. Переходимо до п.1, змінюючи k на $k + 1$.

Суть методу вектора спаду полягає саме у раціональному поєднанні першого і другого алгоритмів при організації пошуку локального мінімуму функції $f(x)$. Збіжність розглянутих вище обчислювальних схем методу вектора спаду впливає з такої теореми.

Теорема 6.5. Нехай функція $f(x)$, визначена на множині G , задовольняє двом умовам: вона обмежена знизу на G , тобто існує таке число $c = \text{const}$, що $f(x) \geq c \quad \forall x \in G$; існує таке число $\delta > 0$, що $\forall x', x'' \in G$ таких, що $f(x') \neq f(x'')$, виконується нерівність $|f(x') - f(x'')| \geq \delta$. Тоді при будь-якому виборі початкового наближення $x^0 \in G$, радіуса $r > 0$ і послідовності $r_1, \dots, r_m$, де $r = r_m$, процеси обчислень по обох алгоритмах збігаються за скінченне число кроків, що не перевищує величини $|f(x^0) - c| \delta^{-1}$.

Справедливість теореми впливає безпосередньо з правил побудови алгоритмів I і II. Дійсно, елементи послідовності $\{f(x^k) | k = 0, 1, \dots\}$, отриманої в результаті роботи будь-якого з двох алгоритмів, задовольняють співвідношенням

$$f(x^0) > f(x^1) > \dots > f(x^k) > f(x^{k+1}) > \dots$$

З цих нерівностей і умов теореми випливає, що $f(x^0) - c \geq \alpha \delta$, де α – число кроків певного алгоритму. Таким чином, справедлива нерівність $\alpha \leq \frac{f(x^0) - c}{\delta}$, що і доводить теорему 6.5.

Відзначимо, що метод вектора спаду з успіхом застосовувався для розв'язання багатьох практичних задач [11].

6.3.2 Метод глобального рівноважного пошуку

Розглянемо метод адаптивного випадкового пошуку розв'язку задач дискретної оптимізації, названий методом глобального рівноважного пошуку [12, 13]. Ідеї цього методу близькі до ідей методу відпалу [14]. Методу глобального рівноважного пошуку властиві всі переваги методу відпалу, і при цьому він має більш високу асимптотичну ефективність. Результати чисельних експеримен-

тів, отримані з використанням цього методу, дозволили стверджувати про реабілітацію ідей больцманівської оптимізації, яка є, на наш погляд, найкращою, запозиченою у самої природи.

Далі подаємо деякі попередні викладки, необхідні для наступного опису методу глобального рівноважного пошуку.

Розглянемо задачу цілочислового лінійного програмування з булевими змінними вигляду: мінімізувати

$$f(x) = \sum_{j=1}^n c_j x_j \quad (6.31)$$

за обмежень

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j = b_i, \quad i = 1, \dots, m, \quad (6.32)$$

$$0 \leq x_j \leq 1, \quad j = 1, \dots, n, \quad (6.33)$$

$$x_j - \text{цілі}, \quad j = 1, \dots, n. \quad (6.34)$$

Вважаємо, що $c_j \geq 0, j = 1, \dots, n$.

Позначимо S множину допустимих розв'язків задачі (6.31)–(6.34) і $Z(\mu) = \sum_{x \in S} \exp(-\mu f(x)) \quad \forall \mu \geq 0$. Випадковий вектор $\xi(\omega)$ визначимо за допомогою наступної формули

$$\pi(x, \mu) = P\{\xi(\mu, \omega) = x\} = \exp(-\mu f(x)) / Z(\mu), \quad x \in S. \quad (6.35)$$

З імовірнісним розподілом (6.26), відомим у статистичній фізиці як розподіл Больцмана, пов'язаний і метод відпалу. Стаціонарна імовірність знаходження марківського ланцюга, породжуваного даним методом, в деякій точці x визначається виразом (6.26). Позначимо також $S_j^1 = \{x : x \in S, x_j = 1\}$ і $S_j^0 = \{x : x \in S, x_j = 0\}$ множини допустимих розв'язків задачі (6.22)–(6.25), в яких j -а ($j = 1, \dots, n$) координата дорівнює, відповідно, 1 і 0. Очевидно, що $S = S_j^1 \uplus S_j^0$. Для будь-якого $j = 1, \dots, n$ визначимо

$$Z_j^1(\mu) = \sum_{x \in S_j^1} \exp(-\mu f(x)), \quad Z_j^0(\mu) = \sum_{x \in S_j^0} \exp(-\mu f(x)),$$

$$p_j(\mu) = P\{\xi_j = 1\}.$$

Легко показати, що

$$Z(\mu) = Z_j^1 + Z_j^0, \quad p_j(\mu) = Z_j^1(\mu) / Z(\mu), \quad j = 1, \dots, n,$$

$$\langle f \rangle_\mu = Mf(\xi(\omega)) = -\frac{\partial}{\partial \mu} \ln Z(\mu) = \sum_{j=1}^n c_j p_j(\mu).$$

З урахуванням рівності

$$\langle f \rangle_\mu = p_j(\mu) \langle f \rangle_\mu^{x_j=1} + (1 - p_j(\mu)) \langle f \rangle_\mu^{x_j=0}, \quad j = 1, \dots, n,$$

обчислимо похідну імовірностей $p_j(\mu)$ за формулами

$$\begin{aligned} \frac{\partial p_j}{\partial \mu} &= \frac{\partial}{\partial \mu} \frac{Z_j^1(\mu)}{Z(\mu)} = \frac{Z(\mu) \frac{\partial Z_j^1(\mu)}{\partial \mu} - Z_j^1(\mu) \frac{\partial Z(\mu)}{\partial \mu}}{(Z(\mu))^2} = \\ &= p_j(\mu) (\langle f \rangle_\mu - \langle f \rangle_\mu^{x_j=1}), \quad j = 1, \dots, n. \end{aligned} \quad (6.36)$$

Очевидно, що

$$\frac{\partial p_j}{\partial \mu} = p_j(\mu) (1 - p_j(\mu)) (\langle f \rangle_\mu^{x_j=0} - \langle f \rangle_\mu^{x_j=1}), \quad j = 1, \dots, n, \quad (6.37)$$

де умовні математичні сподівання визначаються таким чином:

$$\begin{aligned} \langle f \rangle_\mu^{x_j=1} &= M(f(\xi(\mu, \omega)) | x_j = 1) = \frac{\sum_{x \in S_j^1} f(x) \exp(-\mu f(x))}{Z_j^1(\mu)}, \\ \langle f \rangle_\mu^{x_j=0} &= M(f(\xi(\mu, \omega)) | x_j = 0) = \frac{\sum_{x \in S_j^0} f(x) \exp(-\mu f(x))}{Z_j^0(\mu)}. \end{aligned}$$

Розв'язки систем (6.36) і (6.37) мають відповідно вигляд

$$p_j(\mu) = p_j(0) \exp\left(\int_0^\mu (\langle f \rangle_t - \langle f \rangle_t^{x_j=1}) dt\right) \quad (6.38)$$

$$p_j(\mu) = \frac{1}{1 + \frac{1 - p_j(0)}{p_j(0)} \exp\left(-\int_0^\mu \left(\langle f \rangle_t^{x_j=0} - \langle f \rangle_t^{x_j=1}\right) dt\right)}. \quad (6.39)$$

Перейдемо тепер безпосередньо до опису методу глобального рівноважного пошуку при застосуванні його до розв'язання задачі (6.31)–(6.34).

Позначимо $\tilde{S}$ деяку підмножину множини розв'язків задачі (6.31)–(6.34), знайдених методом глобального рівноважного пошуку, і покладемо

$$\tilde{S}_j^1 = \left\{ x : x \in \tilde{S}, x_j = 1 \right\}, \quad \tilde{S}_j^0 = \left\{ x : x \in \tilde{S}, x_j = 0 \right\}.$$

Задамо числа K і $\mu_0 < \mu_1 < \dots < \mu_K$. Для всіх значень $k = 0, \dots, K$ і $j = 1, \dots, n$ визначимо наступні величини:

$$\tilde{Z}_k = \sum_{x \in \tilde{S}} \exp\{-\mu_k f(x)\}, \quad \tilde{F}_k = \sum_{x \in \tilde{S}} f(x) \exp\{-\mu_k f(x)\},$$

$$\tilde{E}_k = \frac{\tilde{F}_k}{\tilde{Z}_k},$$

$$\tilde{Z}_{kj}^1 = \sum_{x \in \tilde{S}_j^1} \exp\{-\mu_k f(x)\}, \quad \tilde{F}_{kj}^1 = \sum_{x \in \tilde{S}_j^1} f(x) \exp\{-\mu_k f(x)\},$$

$$\tilde{E}_{kj}^1 = \frac{\tilde{F}_{kj}^1}{\tilde{Z}_{kj}^1},$$

$$\tilde{Z}_{kj}^0 = \sum_{x \in \tilde{S}_j^0} \exp\{-\mu_k f(x)\}, \quad \tilde{F}_{kj}^0 = \sum_{x \in \tilde{S}_j^0} f(x) \exp\{-\mu_k f(x)\},$$

$$\tilde{E}_{kj}^0 = \frac{\tilde{F}_{kj}^0}{\tilde{Z}_{kj}^0},$$

$$\tilde{p}_{kj} = \frac{1}{1 + \frac{1 - \tilde{p}_{0j}}{\tilde{p}_{0j}} \exp\left\{-0,5 \sum_{i=0}^{k-1} \left(\tilde{E}_{ij}^0 + \tilde{E}_{i+1,j}^0 - \tilde{E}_{ij}^1 + \tilde{E}_{i+1,j}^1\right) (\mu_{i+1} - \mu_i)\right\}}. \quad (6.40)$$

Зауважимо, що вираз (6.40) отримано застосуванням формули трапецій до інтеграла у співвідношенні (6.39).

Схему методу глобального рівноважного пошуку подаємо у вигляді таких процедур:

procedure глобального рівноважного пошуку

```

[ початкова_установка ( $s, s_{\max}, r, K, M, nt, S$ )
  while  $s < s_{\max}$  do
    [ repeat for  $k = 0$  to  $K$ 
      [  $\mu = M(k)$ 
        обчислення згідно з формулою (6.31)
        імовірностей  $\tilde{p}_j(\mu), j = 1, \dots, n$ ,
        repeat for  $i = 1$  to  $nt$ 
          [  $x^s = \text{імовірнісна\_генерація}(\tilde{p}(\mu))$ 
            while пошук_покращення ( $x^s, r$ )  $\neq$  "ні" do
              [  $x^{s+1} = \text{пошук\_покращення}(x^s, r)$ 
                [  $s = s + 1$ 
                  if  $x^s \notin S$  then  $S = S \cup x^s$ 
                   $s = s + 1$ 
                ]
              ]
            ]
          ]
        ]
      ]
    ]
  ]

```

procedure початкова_установка($s, s_{\max}, r, K, M, nt, S$)

```

[ число ітерацій  $s = 0$ ,
  множина знайдених розв'язків  $S = \emptyset$ ,
  вибір величини  $s_{\max}$  – максимального числа ітерацій,
  задання номера околу  $r$ , величини  $K$  і масиву  $M[0:K]$ ,
  де  $M[k] = \mu_k, k = 0, \dots, K$ , які визначають розклад відпалу;
  вибір величини  $nt$  – кількості локальних оптимумів.
]

```

$$\begin{aligned} \text{імовірнісна генерація } (\tilde{p}(\mu)) &= \begin{cases} \text{деякому розв'язку } y \in G, \\ \text{одержаному генерацією} \\ \text{випадкового вектора з} \\ \text{розподілом } \tilde{p}_k(\mu), k = 1, \dots, n. \end{cases} \\ \text{пошук\_покращення } (x^s, r) &= \begin{cases} \text{будь-якому розв'язку} \\ y \in N^r(x^s), f(y) < f(x^s), \\ \text{якщо такий розв'язок існує,} \\ \text{"ні" — у протилежному випадку.} \end{cases} \end{aligned}$$

Детальніше зупинимось на деяких моментах представленої схеми методу глобального рівноважного пошуку.

Імовірності випадкового пошуку. При $\mu=0$ імовірності $p_j(0)$, $j = 1, \dots, n$, можна визначити за допомогою статистичного моделювання таким чином. Генерується необхідна кількість рівноімовірних перестановок координат вектора розв'язку задачі. Далі для розв'язання початкової задачі (6.31)–(6.34) застосовується алгоритм послідовного призначення одиниць, що використовує отриману перестановку. Обчислена частота присвоєння одиничного значення змінній $x_j, j=1, \dots, n$, може слугувати хорошою оцінкою для величини $p_j(0)$. При $\mu_0=0$ маємо $\tilde{p}_{0j} = p_j(0), j = 1, \dots, n$. Розраховувати $p_j(\mu)$ для не дуже великих значень μ можна, чисельно інтегруючи вираз (6.30) і покладаючи $\mu_0 = \mu, \tilde{p}_{0j} = p_j(\mu)$. При визначенні $\mu_k, k = 1, \dots, K$, доцільно вибрати $\alpha > 1$, покласти $\mu_k = \alpha^k \mu_0$ і виходити з умови, згідно з якою при «температурі» μ_k (див, наприклад, [14]) імовірності $\tilde{p}_{Kj}$ приблизно дорівнюють найкращому з отриманих розв'язків.

Якщо в температурному циклі по k не знайдено кращий розв'язок, то має сенс збільшити nt . У протилежному випадку доцільно не змінювати (не зменшувати) nt .

Визначення множини $\tilde{S}$. Припустимо, що у температурному циклі знайдено кращий розв'язок. В такому випадку можна в $\tilde{S}$ залишити тільки цей

розв'язок або декілька кращих розв'язків (так звану еліту). У протилежному випадку зберігаємо попередню множину $\tilde{S}$. Для запам'ятовування отриманих розв'язків (множини $\tilde{S}$) можна застосовувати техніку хешування [15]. Зауважимо, що для початкового «розгону» методу глобального рівноважного пошуку іноді доцільно попередньо застосувати швидкодійний наближений метод, наприклад, метод вектора спаду [11, 12]. Тоді перед першими розрахунками температурного циклу слушно вважати, що множина $\tilde{S}$ складається із знайденого за методом вектора спаду розв'язку.

Головною рисою методу глобального рівноважного пошуку є навіть не притаманна йому обчислювальна ефективність, а високі «командні» якості, під якими розуміємо здатність методу ефективно використовувати розв'язки, отримані іншими алгоритмами. Очевидно, в класичному методі локального пошуку показник командності дорівнює нулю. Командні властивості дозволяють дуже ефективно застосовувати глобальний рівноважний пошук при паралельних розрахунках, що є особливо важливим при оптимізації в комп'ютерних мережах. Зауважимо, що будь-яка задача оптимізації, яка задовольняє певні вимоги до структури оптимуму, може ефективно розв'язуватися за допомогою методу глобального рівноважного пошуку.

6.4 Висновки до розділу

У розділі 6 наведено опис методів та їх програмних реалізацій для розв'язання задач негладкої та дискретної оптимізації. Це такі методи негладкої оптимізації: r -алгоритм – субградієнтний метод з розтягом простору у напрямі різниці двох послідовних субградієнтів (підрозділ 6.1) та метод еліпсоїдів – частинний випадок субградієнтних методів з розтягом простору в напрямі субградієнта (підрозділ 6.2). Для розв'язання задач дискретного програмування це методи вектору спаду та глобального рівноважного пошуку (підрозділ 6.3).

У розділі 7 буде наведено приклади використання r -алгоритмів, методу еліпсоїдів та методу глобального рівноважного пошуку для математичних моделей задач організації реабілітаційного процесу та задач виявлення зв'язків між фізичними та психологічними показниками здоров'я.

Список використаної літератури розділу 6

1. Шор Н. З. Методы минимизации недифференцируемых функций и их приложения. Киев : Наукова думка, 1979. 200 с.
2. Стецюк П. И. Теория и программные реализации r -алгоритмов Шора. *Кибернетика и системный анализ*. 2017. 7. С. 43-57.
3. Стецюк П. И., Фишер А. r -Алгоритмы Шора и octave-функция `ralgb5a`. *Сучасна інформатика: проблеми, досягнення та перспективи розвитку* : тези міжнародної наукової конференції, що присвячена 60-річчю заснування Інституту кібернетики імені В. М. Глушкова НАН України (м. Київ, 13-15 грудня 2017 р.). К. : Ін-т кібернетики ім. В. М. Глушкова НАН України, 2017. С. 143-147.
4. Стецюк П. И. Методы эллипсоидов и r -алгоритмы. Эврика : Кишинэу, 2014. 488 с.
5. Пшеничный Б. Н. Метод линеаризации. М. : Наука, 1983. 136 с.
6. Шор Н. З. Метод отсечения с растяжением пространства для решения задач выпуклого программирования. *Кибернетика*. 1977. 1. С. 94-97.
7. Nemirovsky A. S., Yudin D. B. Problem Complexity and Method Efficiency in Optimization. John Wiley, New York, 1983. Translated from book published by Nauka, Moscow, 1979.
8. Khachiyan L. G. Polynomial algorithms in linear programming. *USSR Comput. Math. Math. Phys.* 1980. 20 (1). P. 53-72. DOI: 10.1016/0041-5553(80)90061-0.
9. Fischer A., Khomyak O., Stetsyuk P. The ellipsoid method and computational aspects. *Commun. Optim. Theory*. 2023. 21. P. 1-14.
10. Стецюк П. І., Фішер А., Хомяк О. М. Уніфіковане представлення класичного методу еліпсоїдів. *Кібернетика та системний аналіз*. 2023. 59 (7). С. 113-123.
11. Сергиенко И. В. Математические модели и методы решения задач дискретной оптимизации. К. : Наук. думка, 1988. 471 с.

12. Сергиенко И. В., Шило В. П. Задачи дискретной оптимизации: проблемы, методы решения, исследования. К. : Наук. думка, 2003. 264 с.
13. Шило В. П. Метод глобального равновесного поиска. *Кибернетика и систем. анализ.* 1999. 1. С. 74-81.
14. Kirkpatrick S., Gelatti C. D., Vecchi M. P. Optimization by simulated annealing. *Science.* 1983. 220. P. 671-680. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.220.4598.671>.
15. Кнут Д. Искусство программирования на ЭВМ. Т. 3. Сортировка и поиск. М. : Мир, 1978. 848 с.

7 РОЗРОБЛЕННЯ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ОРГАНІЗАЦІЇ РЕАБІЛІТАЦІЙНОГО ПРОЦЕСУ

У розділі 7 розглянуто математичні моделі для задач організації реабілітаційного процесу та задач виявлення зв'язків між фізичними та психологічними показниками здоров'я. Наведено алгоритми їх розв'язання на основі методів негладкої та дискретної оптимізації.

Побудовано математичний апарат для прогнозування психологічних висновків на основі кардіологічних даних. Для цього використовується лінійна регресійна модель та метод еліпсоїдів для визначення її параметрів, процедура відбору ознак та метрика для оцінки узгодженості масиву даних. Підрозділ базується на використанні статті [1].

Досліджено задачу лінійного програмування, кількість обмежень якої значно перевищує кількість змінних. Побудовано еквівалентну задачу максимізації увігнутої негладкої штрафної функції, для якої пропонується використовувати r -алгоритми. Також досліджено задачу пошуку параметрів лінійної регресії за критерієм найменших модулів в степені p ($1 \leq p \leq 2$) з регуляризацією та програмна реалізація для її розв'язання на основі r -алгоритму. Матеріал базується на використанні статей [2, 3].

Узагальнено досвід використання методу глобального рівноважного пошуку (ГРП) для розв'язання різних класів задач булевого програмування, що мають численні практичні застосування, у послідовному і паралельному режимах. Значну увагу приділено дослідженню ефективності алгоритмів багатопроцесорного обчислювального комплексу СКІТ Інституту кібернетики. Матеріал підрозділу базується на використанні статей [4, 5].

Розглянуто оптимізаційну задачу коригування коефіцієнтів в матриці парних порівнянь для елементів методу аналізу ієрархій. Розглянуто приклад її застосування для формування компонентів мультимедійного психомоделюючого середовища для підвищення ефективності реабілітації пацієнтів. Використано статтю [6].

Побудовано дві сім'ї оптимізаційних моделей для знаходження оптимальних за вартістю та зваженістю реабілітаційних програм пацієнта. Перша дає змогу вибирати кількість втручань для фахівців мультидисциплінарної команди, а друга формує цю команду для виконання реабілітаційної програми. Наведено розрахунки для модельного прикладу, де реабілітаційна програма пацієнта визначається чотирма фахівцями мультидисциплінарної команди та за трьома кодами Міжнародної класифікації функціонування обмежень життєдіяльності та здоров'я. Матеріал підрозділу базується на використанні статті [7].

7.1 Інструменти та методи для моделювання процесу прогнозування

Перебування України у стані широкомасштабної війни з усіма негативними соціальними наслідками призвело до погіршення психоемоційного стану різних верств населення та виникненню психогенних розладів. Суттєво зростає інтенсивність низки станів, які можна трактувати як переддепресійні. На фоні цих подій вкрай важливим завданням є професійна психологічна діагностика з використанням наявних та вимірних даних, які можна отримати. Це дозволить не лише вчасно поставити коректний діагноз, а й провести відповідне лікування і терапію.

За допомогою інноваційного програмно-апаратного комплексу, розробленого в ІК НАНУ [8], обстежено 90 військовослужбовців, які перебували на санаторному лікуванні у ЦВКС «Хмільник». Об'єктивна оцінка стану здійснювалася на основі поглибленого аналізу малих змін електрокардіограми та варіабельності ритму серця за методом, описаним у статті [9]. Результати аналізу ЕКГ порівнювалися з формалізованим висновком психолога та загальновідомої шкали Бека для оцінки тривожності. Мета цієї роботи – розробити математичний апарат для прогнозування психологічних висновків на основі кардіологічних даних.

У пункті 7.1.1 наведено опис методу еліпсоїдів для знаходження параметрів лінійної регресії з критерієм МНМ у степені p та octave-програми **emlmp**,

що реалізує цей метод. Пункт 7.1.2 містить результати обчислювального експерименту з використанням програми **emlmp** для критеріїв МНМ та МНК. У пункті 7.1.3 запропоновано метрику для оцінки узгодженості масиву даних, що дозволяє оцінити узгодженість для кожного параметра окремо. Знайдено лінійний зв'язок між 4-ма психологічними параметрами та максимальною точністю регресійних моделей при оптимальній кількості параметрів у зазначених моделях.

7.1.1 Метод еліпсоїдів для пошуку параметрів лінійної регресії

Нехай для оцінки n невідомих параметрів $x_1, \dots, x_n$ використовується m спостережень $y_1, \dots, y_m$ причому ці величини пов'язані співвідношенням:

$$y_i = \sum_{j=1}^n a_{ij}x_j + u_i, \quad i = 1, \dots, m, \quad (7.1)$$

де a_{ij} – відомі коефіцієнти, u_i – невідомі випадкові величини, що мають (приблизно) однакові функції розподілу, $m > n$. Рівняння (7.1) можна записати в матричній формі:

$$y = Ax + u, \quad (7.2)$$

де $y = (y_1, \dots, y_m)^T \in \mathbf{R}^m$ і $u = (u_1, \dots, u_m)^T \in \mathbf{R}^m$ – m -вимірні вектори, A – матриця розміру $m \times n$, $x = (x_1, \dots, x_n)^T \in \mathbf{R}^n$ – n -вимірний вектор параметрів, які потрібно оцінити.

Метод найменших модулів у степені p (відповідає знаходженню невідомого вектора x_p^* згідно з критерієм найменших модулів у степені p , де $1 \leq p \leq 2$) – задача математичного програмування:

$$f_{LMP}^* = f_{LMP}(x_p^*) = \min_{x \in \mathbf{R}^n} \left\{ f_{LMP}(x) = \sum_{i=1}^m \left| y_i - \sum_{j=1}^n a_{ij}x_j \right|^p \right\}, \quad (7.3)$$

де $|\cdot|$ – модуль (абсолютна величина) числа. Функція $f_{LMP}(x)$ є негладкою, якщо $p = 1$, та гладкою якщо $p > 1$.

Задача (7.3) – безумовна задача мінімізації опуклої функції $f_{LMP}(x)$, суб-градієнт якої у точці $\bar{x}$ обчислюється за такою формулою:

$$g_{f_{LMP}}(\bar{x}) = \begin{pmatrix} p \sum_{i=1}^m \text{sign} \left(\sum_{j=1}^n a_{ij} \bar{x}_j - y_i \right) \left| \sum_{j=1}^n a_{ij} \bar{x}_j - y_i \right|^{p-1} a_{i1}, \\ \dots \\ p \sum_{i=1}^m \text{sign} \left(\sum_{j=1}^n a_{ij} \bar{x}_j - y_i \right) \left| \sum_{j=1}^n a_{ij} \bar{x}_j - y_i \right|^{p-1} a_{in} \end{pmatrix}. \quad (7.4)$$

Для розв’язання задачі (7.3) може бути застосований алгоритм **emshor** [10]. Далі наведемо його застосування для задачі мінімізації функції $f_{LMP}(x)$ при умові, що її точка мінімуму x_p^* локалізована у n -вимірній кулі радіуса r_0 з центром у точці $x_0 \in R^n$, тобто $\|x_0 - x_p^*\| \leq r_0$.

Алгоритм знаходження x_p^* . Вхідним параметром є величина $\varepsilon_f > 0$ – точність, з якою необхідно знайти $f_{LMP}^* = f(x_p^*)$.

Ініціалізація. Розглянемо $n \times n$ -матрицю B і покладемо $B_0 := I_n$, де I_n – одинична $n \times n$ -матриця. Перейдемо до першої ітерації зі значеннями x_0 , r_0 і B_0 .

Нехай на k -й ітерації знайдені значення $x_k \in R^n$, r_k , B_k . Перехід до $(k+1)$ -ї ітерації полягає у такій послідовності дій.

Крок 1. Обчислимо $f_{LMP}(x_k)$ та субградієнт $g_{f_{LMP}}(x_k)$ у точці x_k за формулою (7.4). Якщо $r_k \|B_k^T g_{f_{LMP}}(x_k)\| \leq \varepsilon_f$, то «Зупинка: $k^* = k$ і $x_p^* = x_k$ ». Інакше переходимо до кроку 2.

Крок 2. Покладемо $\xi_k := \frac{B_k^T g_{f_{LMP}}(x_k)}{\|B_k^T g_{f_{LMP}}(x_k)\|}$.

Крок 3. Обчислимо чергову точку

$$x_{k+1} := x_k - h_k B_k \xi_k, \quad \text{де} \quad h_k = \frac{1}{n+1} r_k.$$

Крок 4. Обчислимо

$$B_{k+1} := B_k + \left(\sqrt{\frac{n-1}{n+1}} - 1 \right) (B_k \xi_k) \xi_k^T \quad \text{і} \quad r_{k+1} := r_k \frac{n}{\sqrt{n^2 - 1}}.$$

Крок 5. Переходимо до $(k+1)$ -ї ітерації зі значеннями x_{k+1} , r_{k+1} , B_{k+1} .

Алгоритм знаходження x_p^* реалізовано octave програмою **emlmp** (ellipsoid method least moduli to the power of p), код якої наведено далі.

```
function [xp,fp,itn,ist] = emlmp(A,y,p,x0,r0,epsf,maxitn,intp);      #row01
n=columns(A); xp=x0; B=eye(n); r=r0;                               #row02
dn=double(n); beta=sqrt((dn-1.0)/(dn+1.0));                         #row03
for (itn = 0:maxitn)                                                #row04
    temp = A*xp - y; fp = sum(abs(temp).^p);                       #row05
    if((mod(itn,intp)==0)&&(intp<=maxitn))                          #row06
        printf(" itn %4d  fp %14.6e\n",itn,fp);                  #row07
    endif                                                           #row08
    g1 = p*A*(sign(temp).*(abs(temp)).^(p-1));                    #row09
    g = B*g1; dg = norm(g);                                         #row10
    if(r*dg < epsf) ist = 1; return; endif                          #row11
    xi = (1.0/dg)*g; dx = B * xi;                                  #row12
    hs = r/(dn+1.0); xp -= hs * dx;                                #row13
    B += (beta - 1) * B * xi * xi';                                #row14
    r = r/sqrt(1.0-1.0/dn)/sqrt(1.0+1.0/dn);                       #row15
endfor                                                             #row16
ist = 4;                                                           #row17
endfunction                                                         #row18
```

Ядро програми **emlmp** зосереджене в циклі `for` (рядки 4 - 16). Спочатку обчислюється значення функції f (рядок 5) та її нормованого субградієнта у точці x_p (рядок 10). Якщо виконується умова зупинки (рядок 11) – алгоритм припиняє свою роботу. Інакше обчислюється наступна точка x_{k+1} (рядок 13), перераховуються матриця перетворення простору B_{k+1} (рядок 14) та радіус r_{k+1} (рядок 15).

Програма має такі вхідні параметри: A , y , p – стартові дані для МНМ степеня p ($1 \leq p \leq 2$); x_0 – стартова точка; r_0 – радіус кулі з центром у точці x_0 , яка локалізує точку мінімуму; ε_f , $maxitn$ – параметри зупинки (точність за значенням функції, що мінімізується, максимальна кількість ітерацій); $intp$ – інтервал виводу (через кожні $intp$ ітерацій).

Вихідні параметри: x_p – наближення до точки мінімуму; f_p – значення функції f у точці x_p ; itn – кількість виконаних ітерацій; ist – код виходу ($1 = \varepsilon_f, 4 = maxitn$).

7.1.2 Прогнозування психологічних індикаторів стану пацієнта на основі кардіологічних даних

Розглянемо результати обчислювального експерименту з використанням відібраних змінних з кардіологічних даних, наведених у статті [1], для прогнозування цільової змінної «формалізований висновок психолога». Вхідні дані включають 84 пацієнтів з 90 (номери 7, 39, 53, 58, 59 та 87 були вилучені на етапі відбору змінних) та 22 показники. Для визначення параметрів лінійної регресійної моделі використовувалась програма **emlmp** зі значеннями параметра $p=1$ та $p=2$, де перший випадок відповідає МНМ, а другий – МНК. Матриця A_0 , що включає у себе 84 спостереження для 22 показників з нумерацією у першому стовпчику, – така:

```
A0 = [
1 0.0 62 1 0.072 55 -148 4 0.026 97 9 0 0 223 -28 0.95 0.0 100 0.687 100 79 41
1;
2 0.0 41 2 0.098 80 0 5 0.0 384 22 11 0 173 -21 2.68 0.5 84 0.814 70 60 26 3;
3 0.0 48 2 0.106 86 -138 3 0.018 185 7 0 0 190 -17 4.22 0.5 84 0.891 100 64 5
3;
4 0.0 34 2 0.11 60 -104 4 0.0 0 5 0 -67 244 -22 1.53 2.2 26 0.753 45 44 9 1;
5 0.07 67 1 0.098 73 0 3 0.0 560 15 4 -55 185 -68 2.5 0.0 100 0.908 75 55 46 1;
6 0.0 67 2 0.108 65 -70 3 0.0 49 11 1 0 178 -33 1.23 1.2 60 0.748 62 54 37 2;
8 0.0 48 1 0.106 86 0 3 0.028 86 66 40 0 324 127 1.02 0.8 74 0.645 74 63 17 1;
9 0.0 81 3 0.094 84 0 3 0.0 105 22 14 0 53 10 1.07 1.2 60 0.764 38 40 67 1;
10 0.0 59 1 0.12 61 0 3 0.0 0 13 2 -65 251 118 0.9 2.2 26 0.914 60 48 5 1;
11 0.0 67 2 0.172 73 0 3 0.0 0 10 1 0 190 166 2.93 1.2 60 0.849 58 50 0 2;
12 0.0 66 1 0.098 86 0 3 0.0 509 28 24 0 279 -32 1.34 1.3 56 0.608 90 69 52 2;
13 0.0 47 2 0.076 67 0 3 0.0 611 17 1 0 61 -21 2.46 2.2 25 0.648 42 41 78 1;
14 0.0 74 1 0.118 84 0 3 0.0 0 12 2 0 143 44 3.02 1.7 43 0.752 80 52 61 1;
15 0.0 40 2 0.102 77 0 3 0.024 222 5 0 0 182 58 2.43 0.5 84 0.8 62 54 22 1;
16 0.0 77 1 0.112 70 -228 4 0.026 132 14 2 0 196 -22 1.28 0.0 100 0.826 76 51
45 3;
17 0.08 59 3 0.084 65 0 3 0.0 735 10 0 -74 97 -13 7.05 1.2 60 0.804 48 48 30 4;
18 0.0 59 1 0.062 100 0 3 0.0 522 23 1 -42 241 -36 2.95 0.0 100 0.839 90 66 19
2;
19 0.0 57 2 0.104 89 -174 3 0.0 555 10 0 0 113 -45 6.83 1.7 43 0.586 83 55 7 2;
20 0.12 66 1 0.066 81 0 3 0.0 381 17 3 -54 248 3 1.85 0.0 100 0.857 77 62 24 1;
21 0.03 63 1 0.078 89 0 3 0.0 834 20 7 -36 162 4 3.26 0.5 84 0.755 94 71 58 1;
```


22 0.04 71 1 0.07 100 0 3 0.026 527 20 13 0 321 43 2.43 0.8 74 0.509 80 61 22
 3;
 23 0.05 89 1 0.092 81 0 3 0.0 889 25 11 -70 322 62 7.11 1.2 60 0.658 91 57 -6
 2;
 24 0.12 45 2 0.086 50 0 3 0.022 39 4 0 0 149 5 1.46 1.2 60 0.98 88 62 41 1;
 25 0.0 74 2 0.116 89 -79 3 0.0 402 13 3 0 93 -27 3.61 1.2 60 0.883 45 46 53 1;
 26 0.0 69 1 0.16 78 0 3 0.0 172 15 3 0 254 66 1.72 0.5 84 0.726 85 73 39 1;
 27 0.09 30 1 0.114 100 0 4 0.0 355 3 0 -34 291 30 1.78 0.0 100 1.075 60 58 21
 1;
 28 0.0 79 1 0.094 35 -102 3 0.0 320 15 3 -42 198 -19 1.47 0.0 100 0.717 90 63
 39 1;
 29 0.0 61 2 0.068 90 0 3 0.0 214 10 0 0 88 7 2.92 1.2 60 0.624 73 50 50 1;
 30 0.0 29 3 0.084 89 0 3 0.0 216 9 0 0 79 17 2.84 1.2 60 0.968 57 46 48 1;
 31 0.0 61 1 0.16 87 0 3 0.0 339 11 1 0 366 55 3.22 1.2 60 0.781 82 75 3 2;
 32 0.0 56 2 0.1 41 -146 3 0.0 82 20 10 0 144 -28 0.64 2.0 34 0.737 70 51 52 2;
 33 0.05 66 2 0.09 83 0 3 0.0 396 13 1 -25 105 -35 2.21 1.2 60 0.74 80 47 61 1;
 34 0.04 65 1 0.102 80 0 3 0.0 479 12 0 0 347 19 3.07 0.0 100 0.759 71 64 16 4;
 35 0.0 60 1 0.13 100 0 3 0.0 448 9 0 0 206 34 1.95 0.0 100 0.716 90 67 47 1;
 36 0.0 71 3 0.106 82 0 3 0.0 94 38 7 0 93 38 1.98 1.2 60 0.737 64 50 30 2;
 37 0.0 50 1 0.112 61 -169 3 0.026 98 9 1 0 258 -16 0.66 0.5 84 0.709 63 59 2 2;
 38 0.0 54 2 0.094 73 -136 3 0.026 187 7 0 0 165 -1 2.75 0.5 84 1.03 73 56 40 4;
 40 0.12 78 1 0.094 86 0 3 0.03 109 29 14 0 231 59 1.72 1.4 53 0.645 81 70 39 2;
 41 0.0 73 2 0.086 100 0 2 0.026 325 22 10 0 101 36 4.12 0.5 84 0.707 87 59 28
 1;
 42 0.0 70 1 0.12 87 0 3 0.0 398 12 2 0 500 129 3.22 1.2 60 0.841 96 56 3 2;
 43 0.0 71 2 0.12 79 0 3 0.0 305 18 3 0 178 6 3.59 0.5 84 0.694 81 57 19 2;
 44 0.0 76 2 0.074 76 0 3 0.0 155 25 19 0 176 -24 2.25 0.5 84 0.723 70 55 30 1;
 45 0.0 71 2 0.116 51 0 2 0.028 44 87 17 0 135 74 0.69 1.3 56 0.502 11 48 41 3;
 46 0.0 40 2 0.124 100 0 3 0.0 518 3 0 0 122 -15 2.38 1.2 60 0.976 84 58 62 3;
 47 0.0 70 1 0.12 80 0 3 0.0 27 12 1 0 255 57 0.97 0.5 84 0.612 56 51 5 3;
 48 0.0 61 2 0.096 67 0 2 0.024 447 10 1 0 143 -8 7.57 0.5 84 0.978 62 50 -7 1;
 49 0.0 33 2 0.108 64 -332 3 0.02 236 5 0 0 128 -11 1.9 0.5 84 0.96 49 47 53 2;
 50 0.06 67 3 0.096 80 0 3 0.0 247 19 8 0 128 12 5.86 1.2 60 0.674 49 49 -1 3;
 51 0.0 47 2 0.1 100 0 4 0.0 502 20 13 0 121 72 3.26 1.2 60 0.72 39 54 54 2;
 52 0.09 72 2 0.098 100 0 3 0.0 581 23 2 -71 112 -20 4.64 1.2 60 0.832 95 64 45
 4;
 54 0.07 60 1 0.098 71 -67 3 0.0 483 9 0 -49 245 -17 2.15 0.0 100 0.874 96 72 48
 1;
 55 0.14 52 2 0.074 86 -50 3 0.0 708 8 1 -104 137 -6 3.53 1.2 60 1.11 55 59 57
 3;
 56 0.0 76 1 0.082 81 0 3 0.016 38 17 6 0 255 -8 1.48 0.0 100 0.736 46 49 11 1;
 57 0.1 60 1 0.112 71 0 4 0.026 310 25 15 -34 240 46 2.08 0.0 100 0.646 67 69 36
 2;
 60 0.0 42 2 0.078 28 -86 5 0.0 197 29 12 0 142 -19 1.14 1.2 60 0.845 77 59 30
 2;
 61 0.0 54 2 0.098 72 0 4 0.0 171 8 0 0 160 65 2.1 0.5 84 0.78 53 51 30 1;
 62 0.0 76 2 0.114 75 0 3 0.0 71 16 3 0 199 34 3.61 1.2 60 0.691 100 72 20 2;
 63 0.0 71 2 0.086 100 0 3 0.0 565 15 3 0 151 -6 3.06 1.2 60 0.959 94 81 50 2;
 64 0.0 66 2 0.066 90 0 3 0.0 274 9 0 0 163 -39 1.78 0.5 84 0.935 94 59 44 1;
 65 0.0 73 2 0.096 87 0 3 0.02 128 18 8 0 185 67 1.68 0.5 84 0.76 60 55 30 2;
 66 0.04 50 2 0.058 72 0 3 0.0 483 17 0 -38 201 9 15.65 1.2 60 0.697 54 48 -22
 1;

```

67 0.0 72 2 0.118 81 0 4 0.026 0 14 2 -94 213 104 2.54 2.2 25 0.707 51 48 -10
2;
68 0.64 40 1 0.102 38 0 3 0.02 0 6 0 -75 197 -11 0.75 2.2 26 0.912 64 55 37 3;
69 0.0 51 3 0.11 100 0 4 0.0 163 8 0 0 82 24 2.05 1.2 60 0.752 76 51 49 3;
70 0.04 81 1 0.104 100 0 3 0.024 557 16 4 0 210 -1 3.85 0.0 100 0.848 65 70 35
3;
71 0.0 77 1 0.084 89 0 4 0.0 355 22 3 0 277 -37 2.09 0.5 84 0.709 90 65 14 3;
72 0.0 50 1 0.102 88 0 3 0.0 405 6 0 0 263 2 4.13 1.2 60 0.964 100 68 7 2;
73 0.0 74 1 0.094 91 0 4 0.0 342 11 2 -27 226 -17 1.9 0.0 100 0.746 94 77 37 2;
74 0.0 67 1 0.098 80 -284 3 0.0 134 19 4 0 256 18 1.72 0.5 84 0.936 94 63 22 2;
75 0.1 32 1 0.072 100 0 5 0.0 503 5 0 -85 203 39 1.93 0.5 84 0.813 60 58 53 3;
76 0.0 43 1 0.12 86 0 3 0.0 205 4 0 0 318 13 2.19 0.5 84 1.129 80 59 16 1;
77 0.0 57 1 0.082 51 -65 4 0.022 53 11 0 0 437 95 1.1 0.0 100 0.72 93 61 22 2;
78 0.0 83 2 0.108 66 0 3 0.0 141 15 3 0 165 -29 2.0 1.2 60 0.899 53 48 14 4;
79 0.0 83 2 0.134 88 0 3 0.0 169 30 17 0 86 26 1.35 2.2 25 0.741 36 44 56 2;
80 0.03 62 1 0.094 88 0 3 0.022 396 9 0 0 226 -5 3.45 0.5 84 0.715 69 67 30 3;
81 0.0 76 2 0.116 100 0 3 0.0 525 19 6 0 89 36 3.16 1.2 60 0.913 100 66 65 3;
82 0.11 65 1 0.094 100 0 3 0.0 843 11 2 -129 236 0 6.65 0.0 100 0.896 96 68 11
1;
83 0.0 74 1 0.11 86 0 3 0.024 164 14 3 0 332 8 2.55 1.2 60 0.973 95 67 5 2;
84 0.0 54 1 0.084 74 -136 3 0.024 239 11 1 0 217 2 1.86 0.0 100 0.637 85 61 43
1;
85 0.0 49 2 0.162 84 0 5 0.0 106 9 1 0 156 160 7.04 1.2 60 0.698 100 71 -5 2;
86 0.0 46 3 0.0 68 0 5 0.0 262 20 9 0 53 11 2.16 2.2 25 0.672 75 51 64 1;
88 0.0 76 2 0.088 75 0 3 0.024 224 11 1 0 160 -37 1.89 0.5 84 0.856 64 59 30 1;
89 0.0 44 1 0.092 33 -312 5 0.0 40 11 2 0 236 -43 0.96 0.5 84 0.609 78 53 15 1;
90 0.0 76 2 0.094 100 0 3 0.0 97 60 8 0 126 11 0.9 1.2 60 0.616 38 56 43 3];

```

Результати роботи програми **emlmp** наведено в табл. 7.1, яка містить час розв’язання задачі (рядок 3), кількість виконаних ітерацій (рядок 4), значення функції в точці x_ε^* (рядок 5) та розв’язок задачі x_ε^* (рядок 6) для чотирьох значень точності та двох значень параметра p .

З табл. 7.1, видно, що для розв’язання задачі при $p=1$, $\varepsilon_f = 10^{-6}$ та $p=2$, $\varepsilon_f = 10^{-12}$ програмі **emlmp** необхідно виконати близько 20 тисяч ітерацій. При збільшенні точності до 10^{-20} (при $p=1$) та 10^{-40} (при $p=2$) кількість ітерацій зростає майже вдвічі: до 35517 та 41486 ітерацій відповідно. Значення f_p для фіксованого p залишається незмінним. В останньому рядку цієї таблиці наведено значення x_p^* , причому жирним виділено ті значення, які відрізняються при порівнянні 2 і 3 стовпчика ($p=1$) та 4 і 5 стовпчиків ($p=2$). Добре видно, що

при $p = 1$ таких відмінностей всього 4, а при $p = 2$ всього 7, причому відповідні елементи вектора x_p^* відрізняються лише в 7 знаку після коми.

Таблиця 7.1 – Результати роботи програми **emlmp** при $n = 22$, $m = 84$, $p = 1.0; 2.0$ та різних точностей ε_f

p	1		2	
ε_f	1.0e-06	1.0e-20	1.0e-12	1.0e-40
$time(sec)$	1.65	2.52	1.50	2.94
itn	20980	35517	19304	41486
f_p	4.14520e+01	4.14520e+01	4.00051e+01	4.00051e+01
x_p^*	4.2793599	4.2793599	4.7386891	4.7386890
	0.0260423	0.0260423	0.0214248	0.0214248
	0.5373529	0.5373528	0.7679384	0.7679384
	9.3570427	9.3570427	10.1775695	10.1775693
	0.0102424	0.0102424	0.0118134	0.0118134
	-0.0028067	-0.0028067	-0.0023647	-0.0023647
	0.7964202	0.7964202	0.5846114	0.5846114
	22.1611534	22.1611538	20.0497737	20.0497739
	0.0011158	0.0011158	0.0020131	0.0020131
	0.0372800	0.0372800	0.0324861	0.0324861
	-0.0680685	-0.0680685	-0.0606403	-0.0606403
	0.0035819	0.0035819	0.0049247	0.0049247
	0.0041393	0.0041393	0.0045200	0.0045200
	-0.0040721	-0.0040721	-0.0033057	-0.0033057
	-0.0276459	-0.0276459	-0.0751805	-0.0751805
	23.0675760	23.0675765	13.8245946	13.8245945
	0.6751749	0.6751749	0.4014796	0.4014796
	-0.0736514	-0.0736514	0.3411751	0.3411752
	-0.0132269	-0.0132269	-0.0095270	-0.0095270
	0.0107583	0.0107583	0.0114221	0.0114220
	0.0049044	0.0049044	-0.0027800	-0.0027800
	-74.4511848	-74.4511864	-46.9434310	-46.9434309

Результати прогнозування за допомогою програми **emlmp** наведено в табл. 7.2. У 3 і 4 стовпчиках наведено величини $y_1 = A \cdot x_1^*$ ($p=1$) та $y_2 = A \cdot x_2^*$ ($p=2$) відповідно, у стовпчиках 5 і 6 – величини $(y - y_1)/y$ та $(y - y_2)/y$ відповідно.

Таблиця 7.2 – Результати прогнозування програмою **emlmp** при $p = 1$ та $p = 2$ ($n = 22$, $m = 84$)

1	1.00000	1.76485	1.47986	0.76000	0.48000
2	3.00000	2.67279	2.66744	-0.11000	-0.11000
3	3.00000	1.70136	2.05923	-0.43000	-0.31000
4	1.00000	1.80410	1.78499	0.80000	0.78000
5	1.00000	1.14873	1.42311	0.15000	0.42000
6	2.00000	1.94310	1.88760	-0.03000	-0.06000
8	1.00000	1.00000	1.07904	-0.00000	0.08000
9	1.00000	1.92455	1.84936	0.92000	0.85000
10	1.00000	0.39202	0.56921	-0.61000	-0.43000
11	2.00000	1.34877	1.73515	-0.33000	-0.13000
12	2.00000	0.77811	1.19919	-0.61000	-0.40000
13	1.00000	1.00000	1.32359	-0.00000	0.32000
14	1.00000	1.00000	0.58369	-0.00000	-0.42000
15	1.00000	1.27186	1.56426	0.27000	0.56000
16	3.00000	2.87753	2.46477	-0.04000	-0.18000
17	4.00000	2.22912	2.73179	-0.44000	-0.32000
18	2.00000	0.96880	1.44967	-0.52000	-0.28000
19	2.00000	2.05693	2.46037	0.03000	0.23000
20	1.00000	1.00000	1.38122	-0.00000	0.38000
21	1.00000	1.51863	1.76470	0.52000	0.76000
22	3.00000	2.37171	2.56878	-0.21000	-0.14000
23	2.00000	2.02919	2.62488	0.01000	0.31000
24	1.00000	1.07479	1.31018	0.07000	0.31000
25	1.00000	2.56887	2.56732	1.57000	1.57000
26	1.00000	1.89772	1.85861	0.90000	0.86000
27	1.00000	1.32020	1.84799	0.32000	0.85000
28	1.00000	0.61832	0.61858	-0.38000	-0.38000
29	1.00000	0.98927	0.94706	-0.01000	-0.05000
30	1.00000	0.85537	1.31391	-0.14000	0.31000
31	2.00000	2.24553	2.76288	0.12000	0.38000
32	2.00000	2.00000	1.61917	-0.00000	-0.19000
33	1.00000	1.80647	1.88951	0.81000	0.89000
34	4.00000	1.65856	2.18967	-0.59000	-0.45000
35	1.00000	1.00000	1.40407	0.00000	0.40000
36	2.00000	2.42722	2.63573	0.21000	0.32000
37	2.00000	2.00000	1.97611	-0.00000	-0.01000
38	4.00000	2.09056	2.13237	-0.48000	-0.47000
40	2.00000	2.26800	2.19695	0.13000	0.10000
41	1.00000	1.00000	1.33892	-0.00000	0.34000
42	2.00000	2.00000	2.67035	-0.00000	0.34000
43	2.00000	2.04644	2.25358	0.02000	0.13000

44	1.00000	1.04672	1.06443	0.05000	0.06000
45	3.00000	3.00000	2.78058	-0.00000	-0.07000
46	3.00000	1.36578	1.91012	-0.54000	-0.36000
47	3.00000	1.48254	1.39976	-0.51000	-0.53000
48	1.00000	1.00000	1.55624	-0.00000	0.56000
49	2.00000	2.18034	2.09103	0.09000	0.05000
50	3.00000	2.04381	2.48769	-0.32000	-0.17000
51	2.00000	2.00000	2.09182	-0.00000	0.05000
52	4.00000	2.52921	2.82648	-0.37000	-0.29000
54	1.00000	1.08596	1.43601	0.09000	0.44000
55	3.00000	2.11789	2.54563	-0.29000	-0.15000
56	1.00000	1.15702	1.14151	0.16000	0.14000
57	2.00000	2.00000	1.97589	-0.00000	-0.01000
60	2.00000	1.96790	1.79679	-0.02000	-0.10000
61	1.00000	1.88433	1.78728	0.88000	0.79000
62	2.00000	1.57454	1.74542	-0.21000	-0.13000
63	2.00000	2.23528	2.73527	0.12000	0.37000
64	1.00000	1.48333	1.68271	0.48000	0.68000
65	2.00000	2.00000	2.03090	-0.00000	0.02000
66	1.00000	1.00000	1.09865	-0.00000	0.10000
67	2.00000	2.00000	2.23373	-0.00000	0.12000
68	3.00000	3.00000	3.13146	-0.00000	0.04000
69	3.00000	2.31331	2.47469	-0.23000	-0.18000
70	3.00000	2.51788	2.80616	-0.16000	-0.06000
71	3.00000	3.00000	2.90820	-0.00000	-0.03000
72	2.00000	0.83897	1.42089	-0.58000	-0.29000
73	2.00000	1.75069	1.79015	-0.12000	-0.10000
74	2.00000	2.00000	1.95943	-0.00000	-0.02000
75	3.00000	2.37770	2.07861	-0.21000	-0.31000
76	1.00000	1.00000	1.39829	-0.00000	0.40000
77	2.00000	1.57523	1.60176	-0.21000	-0.20000
78	4.00000	2.12837	2.27335	-0.47000	-0.43000
79	2.00000	1.53737	1.72094	-0.23000	-0.14000
80	3.00000	2.27581	2.25950	-0.24000	-0.25000
81	3.00000	1.95228	2.30273	-0.35000	-0.23000
82	1.00000	1.05546	1.78005	0.06000	0.78000
83	2.00000	2.22513	2.52256	0.11000	0.26000
84	1.00000	1.00000	1.01213	-0.00000	0.01000
85	2.00000	2.00000	2.08707	0.00000	0.04000
86	1.00000	1.02668	1.11495	0.03000	0.11000
88	1.00000	2.58891	2.59787	1.59000	1.60000
89	1.00000	2.54835	1.87245	1.55000	0.87000
90	3.00000	3.60511	3.28394	0.20000	0.09000

Результати таблиці 7.2 демонструють, що при використанні критерія МНМ (п'ятий стовпчик) відсоткові значення відхилення значно менші, ніж при використанні МНК (шостий стовпчик). Зокрема, у стовпчику 5 налічується 22 нульових значення (що означає, що розв'язок знайдено з установленою точні-

стю), тоді як у стовпчику 6 нульових значень немає взагалі. Окрім цього, в стовпчику 5 міститься більше значень, які за модулем досить близькі до нуля, ніж у шостому стовпчику. Такі факти означають, що програма **emlmp** з використанням критерія найменших модулів впоралась з прогнозуванням суттєво краще, ніж при використанні критерія найменших квадратів.

7.1.3 Аналіз узгодженості масиву даних

Отже, загальний масив даних включає групу $n = 90$ пацієнтів, які описуються $m = 191$ діагностичними параметрами, серед яких 186 кількісних та 5 психологічних. Попередньо у 3-х параметрів (загальний рівень біоенергетики (ТР), VLF, LF) були виявлені аномальні дані, які були замінені на середні арифметичні. Для подальшого відбракування параметрів, які мають значний розкид та погано узгоджуються з іншими параметрами потрібно знайти метрику, яка описує ступінь узгодженості як всього масиву даних, так і кожного пацієнта чи параметра окремо. При цьому вибракувати можна як пацієнтів, так і параметри, рівень узгодженості яких нижче певного порогу.

Для всього масиву відома рангова метрика узгодженості, така як ранговий коефіцієнт конкордації (КК) Кендала W [11]. Це число від 0 до 1, при $W < 0.3$ масив вважається неузгодженим, при $0.3 < W < 0.7$ маємо середню узгодженість, а при $W > 0.7$ – високу. Але наданий масиву замість рангів включає різномірні параметри, які мають числові значення, тому рангові метрики не підходять [12]. Потрібно врахувати також, що вибракування пацієнтів небажане, бо дані кожного пацієнта є цінними, а в першу чергу потрібно вибракувати окремі параметри, яких, як правило, значно більше, ніж пацієнтів. Отже, цей підхід дозволить провести відбір параметрів та зменшити їх кількість.

Для коефіцієнта узгодженості (КУ) j -го параметра K_j ($j = \overline{1, m}$) пропонуємо вираз

$$K_j = \frac{S_{\max, j} - S_j}{S_{\max, j} + S_j}, \quad (7.5)$$

де S_j – дисперсія за вибіркою пацієнтів для j -го параметра, $S_{\max, j}$ – максимальна дисперсія за вибіркою пацієнтів для j -го параметра. При повній узгодженості, коли значення певного параметра для всіх пацієнтів співпадає, тобто $S_j = 0$, він рівний 1, а при повній неузгодженості, коли параметр має максимальний розкид, тобто для половини пацієнтів він має мінімальне значення, а для іншої половини – максимальне, тоді $S_j = S_{\max, j}$, а КУ мінімальний та рівний 0. Шкалу ступенів узгодженості трохи модифікуємо порівняно з КК Кендала. Будемо вважати, що при $K < 0.5$ маємо низьку ступінь узгодженості, при $0.5 < K < 0.7$ середню ступінь, а при $K > 0.7$ – високу.

Дисперсію S_j для нормованого j -го параметра R_{ij} обчислюємо згідно

$$S_j = \sum_{i=1}^n (R_{ij} - 1)^2, \quad R_{ij} = \frac{X_{ij}}{X_{ave, j}}, \quad X_{ave, j} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_{ij}, \quad (7.6)$$

де X_{ij} – значення j -го параметра для i -го пацієнта ($i = \overline{1, n}$), $X_{ave, j}$ – середнє значення j -го параметра за вибіркою пацієнтів, а також враховано, що середнє значення нормованого j -го параметра $R_{ave, j} = 1$.

Відповідно, вираз для максимальної дисперсії $S_{\max, j}$ має вигляд

$$S_{\max, j} = \sum_{i=1}^n (R_{\max, j} - R_{ave, \max, j})^2 = \frac{n}{4} (R_{\max, j} - R_{\min, j})^2, \\ R_{ave, \max, j} = \frac{R_{\max, j} + R_{\min, j}}{2}, \quad (7.7)$$

де $R_{\max, j}$ та $R_{\min, j}$ – максимальне та мінімальне значення нормованого j -го параметра за вибіркою пацієнтів, $R_{ave, \max, j}$ – його середнє значення при максимальному розкиді.

За результатами аналізу узгодженості масиву даних згідно виразів (7.5), (7.6), (7.7), середній КУ дорівнює 79 %. Це свідчить про досить високу ступінь узгодженості різнорідних параметрів для даної вибірки пацієнтів загалом, бо він більше 70 %. В табл. 7.3 зведено КУ погано узгоджених параметрів, з якої

видно, що один найгірший параметр «Тривалість Q (сек)» має низьку ($< 50\%$) ступінь узгодженості біля 44% , та ще 20 параметрів демонструють середню ступінь, меншу 70% , отже ці 21 параметрів потрібно вилучити при подальшому проведенні аналізу іншими математичними методами.

Таблиця 7.3 – Параметри, які підлягають вибракуванню

№	Назва параметра	КУ, %	№	Назва параметра	КУ, %
1	Тривалість Q (сек)	44,2	12	Комплексна оцінка ступеня ураження міокарда_init	67,2
2	Код СІІS 6_univ	58,9	13	Відношення амплітуд Q/R (відведення AvF)	67,2
3	Первинний висновок психолога	59,8	14	Код відведення I _init	67,5
4	Тривалість S (сек)	61,0	15	Код відведення I _verb	67,6
5	Код СІІS 6_verb	62,4	16	Код відведення AvR _init	68,2
6	Ознаки серцевої недостатності за даними ЕКГ_univ	63,4	17	Код відведення AvR _verb	68,2
7	Амплітуда S (мкВ) (відведення AvR)	63,8	18	Амплітуда R (мкВ) (відведення III)	69,5
8	Амплітуда S (мкВ) (відведення AvL)	64,0	19	Відношення площ P/QRS (відведення I)	69,6
9	Шкала тривоги Бека	65,2	20	Індекс співвідношення фаз ЕКГ	69,8
10	Підсумкова оцінка_verb	65,9	21	Психоемоційний стан_verb	69,8
11	Амплітуда P (мкВ) (відведення AvL)	67,1			

В контексті даного дослідження психологічні параметри № 3 (первинний висновок психолога) та № 9 (шкала тривоги Бека) неможна викидати, бо для них ставиться задача обчислення регресій. Тоді доцільно виявити, чи корелює

узгодженість з максимальною точністю регресійних моделей для 4-х психологічних параметрів, як отриманих на етапі навчання (*train_score*), так і валідована (*test_score*), отримана раніше в розділі 3.

Ці дані наведено в табл. 7.4, звідки видно, що КУ з великою точністю лінійно зв'язаний з величиною *train_score* згідно виразу, де *K* – це КУ згідно (7.5). Це означає, що чим менший КУ (більша дисперсія) психологічного параметра, тим точнішу регресійну модель для нього можна побудувати. Між валідованою точністю *test_score* та КУ суттєвої кореляції не виявлено.

$$Train\_score(\%) = 102.925 - K. \quad (7.8)$$

Таблиця 7.4 – Узгодженість та точність регресійної моделі для 4-х психологічних параметрів

№	Назва параметра	Точність моделі		КУ
		<i>train_score</i>	<i>test_score</i>	
1	Первинний висновок психолога (4)	44,8	21,4	59,8
2	Шкала тривоги Бека (2)	42,5	30,7	65,2
3	Шкала самооцінки PCL–M–в/в (0)	27,9	2,8	71,1
4	Анкета здоров'я пацієнта PHQ–9 (1)	27,5	4,5	72,9

7.2 Моделі ЛП-задачі та регресії з використанням *r*-алгоритму

У підрозділі досліджується задача лінійного програмування, кількість обмежень якої значно перевищує кількість змінних. За деяких обмежень на дані задачі показано, що задача еквівалентна максимізації увігнутої негладкої функції штрафу за невід'ємних обмежень з параметром штрафу, який можна легко визначити. Крім того, після перетворення останньої програми в задачу необмеженої максимізації запропоновано використовувати *r*-алгоритми. За допомогою випадково згенерованих тестових задач із дуже великою кількістю обмежень продемонстровано життєздатність та ефективність цього підходу.

Для знаходження параметрів лінійної регресії за критерієм найменших модулів в степені p ($1 \leq p \leq 2$) з регуляризацією описана розроблена програма **ralmpr** (**r**-algorithm for least **m**oduli to the power of **p** with **r**egularization). В її

основу покладено $r(\alpha)$ -алгоритм з адаптивним способом регулювання кроку та octave-програму **ralgb5a** (див. підрозділ 6.1). Наведено результати обчислювальних експериментів, які демонструють ефективність програми **ralmpr** для тисячі невідомих параметрів.

7.2.1 Використанням г-алгоритму для спеціальної ЛП-задачі

Розглянемо задачу лінійного програмування:

$$f_{\max} = \max_{x \in \mathbb{R}^n} \left\{ c^T x = \sum_{i=1}^n c_i x_i \right\}, \quad (7.9)$$

$$Ax \leq b, \quad \text{або} \quad \sum_{i=1}^n a_{ji} x_i \leq b_j, \quad j = 1, \dots, m, \quad (7.10)$$

$$0 \leq x \leq u, \quad \text{або} \quad 0 \leq x_i \leq u_i, \quad i = 1, \dots, n, \quad (7.11)$$

де $m \gg n$, матриця $A = \{a_{ji}\}$ має довільні дійсні елементи, компоненти вектора $c = (c_1, \dots, c_n)^T$ невід'ємні, вектор $b = (b_1, \dots, b_m)^T$ має додатні компоненти. Крім того, будемо вважати, що компоненти вектора $u = (u_1, \dots, u_n)^T$ мають скінченне значення, тобто $u_i < +\infty, i = 1, \dots, n$. Це дозволяє нам обмежити максимальне значення $f_{\max}$ тому що:

$$f_{\max} \leq c^T u = \sum_{i=1}^n c_i u_i < +\infty. \quad (7.12)$$

Лінійні програми (ЛП), які мають набагато більше обмежень, ніж змінних, відіграють значну роль у багатьох сферах. Прикладами є робастні задачі лінійної оптимізації, схеми декомпозиції Данцига-Вульфа та Бендерса, задачі мінімаксу та максиміну, задачі апроксимації з мінімаксним критерієм Чебишева та задачі булевого оцінювання. Наприклад, у робастній лінійній оптимізації розглядаються обмеження у формі

$$B(\xi)x - b(\xi) \leq 0 \quad \forall \xi \in U, \quad (7.13)$$

де параметр вектора ξ належить до множини невизначеностей U , матриця $B(\xi)$, а також права сторона $b(\xi)$ можуть залежати від $\xi \in U$. Якщо множина

U скінченна, але містить до тисяч або мільйонів заданих параметрів, ми отримуємо задачу лінійного програмування, де кількість обмежень набагато більша, ніж кількість змінних.

Перепишемо задачу (7.9) – (7.11) як ЛП-задачу:

$$f_{\max} = \max_{x \geq 0} c^T x : Hx \leq \mathbf{1}, x \in \mathbb{R}^n \quad (7.14)$$

де коефіцієнти $(m+n) \times n$ матриці H задаються як $h_{ji} = a_{ji} / b_i$, $j = 1, \dots, m$, $i = 1, \dots, n$, $h_{ji} = 1 / u_i$, $j = m + i$, $i = 1, \dots, n$, $h_{ji} = 0$, $j = m + 1, \dots, m + i - 1, m + i + 1, \dots, m + n$, $i = 1, \dots, n$, $\mathbf{1} - (m + n)$ -вектор, компоненти якого рівні одиниці.

Теорема 7.1. Якщо $P \geq f_{\max} > 0$, то ЛП-задача (7.14) еквівалентна задачі оптимізації

$$f_{\max} = \max_{x \geq 0} f_P(x), \quad (7.15)$$

де $f_P(x)$ визначається як

$$f_P(x) = c^T x - P \cdot \max \left\{ 0, \max_{j=1, \dots, m+n} \left\{ \sum_{i=1}^n h_{ji} x_i - 1 \right\} \right\}. \quad (7.16)$$

Тут еквівалентність означає, що множини оптимальних розв'язків задач (7.14) і (7.15) однакові.

Отже, згідно з Теоремою 7.1, замість ЛП-задачі (7.9) - (7.11) можна розв'язати негладку задачу максимізації увігнутої функції (7.15). Для цього придатний будь-який із суперградієнтних методів максимізації негладких увігнутих функцій, якщо він дозволяє врахувати невід'ємність змінних. Наприклад, для розв'язання задачі (7.15) можна використати r -алгоритми, які є нечутливими до виродження матриці $A^T A$ та стійкими щодо вибору початкового наближення та досить швидко збігаються.

При використанні r -алгоритму для розв'язування задач з невід'ємними змінними $x_i, i = 1, \dots, n$, можна змінні x_i замінити на нові змінні $|z_i|, i = 1, \dots, n$. У результаті замість функції $f_P(x_1, \dots, x_n)$ отримуємо функцію $f_P(|z_1|, \dots, |z_n|)$, в

якому всі локальні максимуми є глобальними. Щоб знайти локальний максимум функції $f_p(|z_1|, \dots, |z_n|)$, можна використовувати будь-який із методів максимізації негладкої функції. Практика використання r -алгоритмів показала, що такий підхід дає надійні результати і в певному сенсі є кращим від методу негладких штрафних функцій [100], оскільки не потребує підбору параметрів штрафу. Цей підхід досить простий у реалізації та буде ефективним для розв'язування задач типу (7.15), коли кількість змінних невелика.

Це підтверджують наведені в таблиці 7.5 результати обчислювальних експериментів для тестових задач (7.15) з невеликою кількістю змінних $n \in \{25, 50, 100\}$ задач за великої кількості обмежень $m \in \{100.000, 250.000, 500.000, 1.000.000\}$.

Таблиця 7.5 – Результати для GLPK і LPralg (час роботи в секундах)

n	m	t_{GLPK}	t_{LPralg}	t_{GLPK} / t_{LPralg}	Δ
25	100.000	1.80	0.73	2.47	2.9e-08
	250.000	4.07	3.01	1.35	4.8e-09
	500.000	8.55	4.90	1.75	9.2e-09
	1.000.000	18.0	12.2	1.47	2.0e-08
50	100.000	4.00	2.44	1.64	4.6e-08
	250.000	10.9	8.92	1.22	9.3e-08
	500.000	22.4	15.2	1.48	4.3e-08
	1.000.000	46.2	26.3	1.75	2.2e-08
100	100.000	12.8	13.2	0.97	1.2e-07
	250.000	31.6	34.2	0.92	3.3e-07
	500.000	66.7	45.5	1.46	1.3e-07
	1.000.000	284.5	110.0	2.59	2.4e-07

Час виконання для розв'язування тестових задач позначено t_{GLPK} для вирішувача GLPK [13] та t_{LPralg} для алгоритму LPralg, процесор Intel Core i5-9400f, 2.9 GHz, 16GB RAM, Octave версія 5.1.0. Окрім цих часів виконання, у табл. 7.5 також показано евклідову відстань Δ між наближеними розв'язками,

отриманими двома методами. Результати обчислень у табл. 7.5 округлені та демонструють, що вирішувач GLPK потребує в середньому в 0,97-2,59 разів більше часу для тестових задач, ніж LPralg. Останній стовпець цієї таблиці показує, що відхилення між двома наближеними розв'язками, отриманими після завершення GLPK і LPralg, невелике, що означає, що обидві програми дають досить однакову якість наближених розв'язків для задач.

7.2.2 r-Алгоритм для навчання моделей лінійної регресії

Нижче описано octave-програму **ralmpr** (**r**-algorithm for **l**east **m**oduli to the power of **p** with **r**egularization), яка призначена для знаходження параметрів лінійної регресії за критерієм найменших модулів в степені p_1 ($1 \leq p_1 \leq 2$) з регуляризацією за формулою $\lambda \sum_{i=1}^n |x_i|^{p_2}$, де $\lambda \geq 0$ та $1 \leq p_2 \leq 2$. Програма реалізує алгоритм розв'язання оптимізаційної задачі (7.17) за допомогою r-алгоритму – субградієнтного методу з розтягом простору в напрямі різниці двох послідовних субградієнтів.

Якщо рядки матриці A лінійно залежні, то задачу (6.3) із підрозділу 6.1 можна замінити задачею безумовної мінімізації опуклої функції:

$$f_{p_1, p_2}^* = f_{p_1, p_2}(x^*) = \min_{x \in \mathbf{R}^n} \left\{ f_{p_1, p_2}(x) = \sum_{i=1}^m \left| y_i - \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \right|^{p_1} + \lambda \sum_{i=1}^n |x_i|^{p_2} \right\}, \quad (7.17)$$

де $\lambda \geq 0$ – скалярний параметр регуляризації, p_1 та p_2 – скалярні параметри, такі що $1 \leq p_1 \leq 2$ та $1 \leq p_2 \leq 2$. Функція $f_{p_1, p_2}(x)$ є негладкою, якщо $p_1 = 1$ або $p_2 = 1$, та гладкою якщо $p_1 > 1$ та $p_2 > 1$. Її субградієнт у точці $\bar{x}$ обчислюється за такою формулою:

$$g_{f_{p_1, p_2}}(\bar{x}) = \begin{pmatrix} p_1 \sum_{i=1}^m \operatorname{sign} \left(\sum_{j=1}^n a_{ij} \bar{x}_j - y_i \right) \left| \sum_{j=1}^n a_{ij} \bar{x}_j - y_i \right|^{p_1-1} a_{i1}, \\ \dots \\ p_1 \sum_{i=1}^m \operatorname{sign} \left(\sum_{j=1}^n a_{ij} \bar{x}_j - y_i \right) \left| \sum_{j=1}^n a_{ij} \bar{x}_j - y_i \right|^{p_1-1} a_{in} \end{pmatrix} +$$

$$+ \lambda \begin{pmatrix} p_2 \sum_{i=1}^m \operatorname{sign}(\bar{x}_1) |\bar{x}_1|^{p_2-1}, \\ \dots \\ p_2 \sum_{i=1}^m \operatorname{sign}(\bar{x}_n) |\bar{x}_n|^{p_2-1} \end{pmatrix}. \quad (7.18)$$

Якщо $\lambda > 0$, то частинним випадком задачі (7.17) є відома задача мінімізації негладкої функції

$$f_1^* = f_1(x^*) = \min_{x \in \mathbf{R}^n} \left\{ f_1(x) = \|y - Ax\|^2 + \lambda \sum_{i=1}^n |x_i| \right\}, \quad (7.19)$$

та відома задача мінімізації строго опуклої гладкої функції

$$f_2^* = f_2(x^*) = \min_{x \in \mathbf{R}^n} \left\{ f_2(x) = \|y - Ax\|^2 + \lambda \sum_{i=1}^n x_i^2 \right\}, \quad (7.20)$$

В основі задачі (7.19) лежить L_1 -регуляризація (називається lasso-регресією), а в основі задачі (7.20) лежить L_2 -регуляризація (називається ridge-регресією). Якщо $\lambda = 0$, то задача (7.17) відповідає знаходженню параметрів лінійної регресії за критерієм найменших модулів у степені p_1 .

Алгоритм знаходження точки x_p^* (наближення до точки мінімуму x^*) реалізовано octave програмою **ralmpr** (r-algorithm for least moduli to the power of **p** with regularization), код якої наведено нижче.

```
# Вхідні параметри:
# A, y, p1, lambda, p2 - дані про задачу (2.9), 1 <= p1, p2 <= 2
# x0(n,1), alpha, h0, q1 - стартова точка та параметри r-алгоритму
# epsx, epsg, maxitn, intr - параметри зупинки та інтервал друку
# Вихідні параметри:
# xp(n,1), fp - рекордна точка та значення функції в ній
# itn, nfg - кількості ітерацій та обчислень функції і субградієнта
# ist - код завершення: 2-epsg, 3-epsx, 4-maxitn, 5-warning
```

```

function [xp,fp,itn,nfg,ist] = ralmpr(A,y,p1,lambda,p2,x0,alpha,      #row01
                                     h0,q1,epsg,epsx,maxitn,intp);
itn = 0; n=columns(A); B = eye(n); hs = h0; lsa = 0; lsm = 0;      #row02
xr = x = x0; temp = A*x0 - y; fr = fp = sum(abs(temp).^p1);      #row03
g0 = p1*A'*(sign(temp).*(abs(temp)).^(p1-1)); nfg = 1;           #row04
fr = fp = fp + lambda*sum(abs(x).^p2);                             #row05
g0 = g0 + lambda*p2*(sign(x).*(abs(x)).^(p2-1));                 #row06
if (intp>0)                                                         #row07
    printf("itn %4d f%16.6e fr%16.6e  nfg %4d\n",itn,fr,fr,nfg);  #row08
endif                                                              #row09
if(norm(g0) < epsg) ist = 2; return; endif                         #row10
for (itn = 1:maxitn)                                               #row11
    dx = B * (g1 = B' * g0)/norm(g1);                             #row12
    d = 1; ls = 0; ddx = 0;                                       #row12
    while (d > 0)                                                  #row13
        x -= hs * dx; ddx += hs * norm(dx);                      #row14
        temp = A*x - y; f = sum(abs(temp).^p1);                 #row15
        g1 = p1*A'*(sign(temp).*(abs(temp)).^(p1-1));           #row16
        f = f + lambda*sum(abs(x).^p2);                          #row17
        g1 = g1 + lambda*p2*(sign(x).*(abs(x)).^(p2-1));         #row18
        nfg ++;                                                  #row19
        if (f < fr)  fr = fp = f; xr = xp = x; endif            #row20
        if(norm(g1) < epsg) ist = 2; return; endif              #row21
        ls ++; (mod(ls,3) == 0) && (hs *= 1.1);                  #row22
        if(ls > 500) ist = 5; return; endif                     #row23
        d = dx' * g1;                                           #row24
    endwhile                                                       #row25
    (ls == 1) && (hs *= q1); lsa=lsa+ls; lsm=max(lsm,ls);         #row26
    if(mod(itn,intp)==0)                                           #row27
        if (intp>0)                                              #row28
            printf("itn %4d f %14.6e fr %14.6e", itn, f, fr);    #row29
            printf("  nfg %4d lsa %3d lsm %3d\n", nfg, lsa, lsm); #row30
        endif                                                    #row31
        lsa=0; lsm=0;                                           #row32
    endif                                                         #row33
    if(ddx < epsx) ist = 3; return; endif                         #row34
    xi = (dg = B' * (g1 - g0) )/norm(dg);                        #row35
    B += (1 / alpha - 1) * B * xi * xi';                         #row36
    g0 = g1;                                                     #row37
endfor                                                            #row38
ist = 4;                                                         #row39
endfunction                                                       #row40

```

Ядро програми **ralmpr** складає код програми **ralgb5a** (описана в пункті 7.1.1), де виклик програми обчислення функції та субградієнта замінено на аналітичне обчислення субградієнта за формулами (7.17) та (7.88) (рядки 3-6 та 15-18).

Розроблена програма **ralmpr** дозволяє налаштовувати регресійні моделі вигляду (7.17) на роботу за правилами ridge-регресії ($p_1 = p_2 = 2$) та lasso-регресії ($p_1 = 2, p_2 = 1$). Окрім цього вона надає ряд додаткових можливостей, які забезпечуються використанням інших значень параметрів $p_1, p_2 \in [1, 2]$. Якщо $\lambda = 0$, то задача (7.17) відповідає знаходженню параметрів лінійної регресії за критерієм найменших модулів у степені p_1 [1].

Якщо кількість невідомих параметрів $n = 200$ та кількість спостережень $m = 1000$, то тестові задачі (7.17) програма **ralmpr** вирішує за 7–8 секунд, а якщо кількість невідомих параметрів $n = 1000$ та кількість спостережень $m = 200$, то тестові задачі програма вирішує за 80–83 секунди. Обчислення проводилися на персональному комп'ютері з процесором Intel Core i5-9400f, 2.9 GHz, 16GB RAM, Octave версія 5.1.0.

7.3 Інструменти та методи для моделювання процесу вирішення задач булевого програмування

Обчислювальні складності, що виникають під час розв'язання дискретних оптимізаційних задач, часто пов'язані з їхньою великою розмірністю, багатоекстремальністю та наявністю дискретних змінних. У той же час ці задачі, як правило, мають специфічну структуру, яка дозволяє розробляти спеціальні методи їхнього розв'язання, які звичайно більш ефективні, ніж загальні методи дискретного програмування. З іншого боку, відомі алгоритми, які добре зарекомендували себе під час розв'язання спеціальних задач, під час переходу на більш загальні моделі втрачають свою простоту і стають менш ефективними. Практичне використання стандартних засобів дискретного програмування, заснованих, як правило, на методі гілок і меж, під час розв'язання реальних задач великої розмірності не приводить до успіху. У зв'язку з цим особливої актуальності набуває розробка та дослідження різних наближених методів розв'язання дискретних оптимізаційних задач, орієнтованих, у тому числі, на використання багато-процесорних обчислювальних комплексів.

Даний підпункт присвячений деяким підсумковим результатам успішного застосування наближеного імовірнісного методу глобального пошуку (ГРП) [7.14] для розв'язання на ЕОМ різних класів задач булевого програмування великої розмірності у послідовному і паралельному режимах.

7.3.1 Послідовні алгоритми ГРП

Метод ГРП є подальшим розвитком методу вектора спаду [15] та ідейно близький до методу відпалу [16]. Структури методів ГРП і відпалу подібні. Незважаючи на численні успішні застосування методу відпалу до широкого спектра задач оптимізації [17], є ряд задач, на яких він не може конкурувати навіть із тривіальним методом повторюваного випадкового локального пошуку (RLMS) через повільну асимптотичну збіжність. Ефективне використання властивостей області пошуку розв'язків дає можливість усунути деякі недоліки методу відпалу, зберігаючи всі його позитивні якості. У деякому сенсі метод ГРП відновлює ідеї больцманівської оптимізації.

Загальна схема методу ГРП [18, 19] включає два етапи: генерацію розв'язку та пошук локального екстремуму з використанням цього розв'язку як початкового наближення. Зазначимо, що під час вибору пошукового алгоритму на другому етапі методу ГРП враховується специфіка розв'язуваної задачі. У якості пошукових для різних класів задач дискретної оптимізації використовувались наступні алгоритми:

- 1) локального пошуку з околами радіуса $r = 1,2$ [18, 20];
- 2) табу [21];
- 3) «k – opt» алгоритм локального типу «пошук змінної глибини», заснований на ідеях Ліна-Кернігана [20].

Метод ГРП добре зарекомендував себе під час розв'язання різних задач дискретної оптимізації. Однією з них є задача про покриття множини (в подальшому задача про покриття), яка має багато практичних застосувань. Серед них слід назвати задачі, що виникають під час розв'язання проблем оптимального розміщення об'єктів, мінімізації логічних схем і алгоритмів, складанні розкладів, аналізу й синтезу живучості транспортних мереж. До них відносяться

також задачі планування, тестування, пошуку комп'ютерних вірусів, інформації, балансування складальної лінії. Крім того, треба виділити дуже важливі з точки зору практичних застосувань задачі постачання, маршрутизації, планування роботи льотних екіпажів. І, нарешті, досить часто алгоритми розв'язання задачі про покриття входять до складу алгоритмічного забезпечення сучасних комп'ютерних технологій.

Крім комбінаторного формулювання задачу про покриття (SCP) можна представити як задачу булевого лінійного програмування вигляду: знайти

$$\min \left\{ f(x) = \sum_{j=1}^n c_j x_j \right\}$$

з урахуванням обмежень

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \geq 1, \quad i \in M = \{1, \dots, m\},$$

$$x_j = 0 \vee 1, \quad j \in N = \{1, \dots, n\},$$

де $c_j \geq 0$, $a_{ij} \in \{0, 1\}$, $i \in M$, $j \in N$. Вона ще називається задачею про мінімальне покриття або зваженою задачею про покриття.

SCP є NP-важкою задачею, тому розробка наближених алгоритмів її розв'язання представляє особливий інтерес. Для її розв'язання розроблено алгоритм глобального рівноважного пошуку [22]. Його ефективність перевірена на 65 випадково згенерованих тестових задачах великої розмірності, які доступні в OR-library (<http://people.brunel.ac.uk/~mastjjb/jeb/orlib/scpinfo.html>). Зазначимо, що розглянуті тестові задачі мають рідко заповнені матриці обмежень. Вони набагато складніші для розв'язання, ніж задачі з великою щільністю матриць.

Для порівняння з алгоритмом ГРП було вибрано сім відомих у світовій літературі алгоритмів [22], які показали хороші результати. Алгоритм ГРП продемонстрував свої переваги щодо більшості порівнюваних алгоритмів. Це стосується, зокрема, можливості та незначного часу отримання відомих рекордів (найкращих значень цільової функції) для розглянутої множини тестових задач.

Алгоритм ГРП [23] було успішно застосовано до задачі булевого квадратичного програмування без обмежень (UBQP) вигляду: знайти

$$\max \left\{ f(x) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n q_{ij} x_i x_j \mid x \in B^n \right\}, \quad (7.21)$$

де q_{ij} – елементи симетричної дійсної матриці Q порядку n , B^n – множина n -вимірних векторів з компонентами 0 або 1.

Моделі вигляду (7.21) описують багато задач інженерії, економіки, медицини, фізики, хімії та інших галузей. Застосування версій задачі (7.21) з обмеженнями і без обмежень можна знайти, крім того, у численних галузях, включаючи машинне проєктування, планування, керування повідомленнями тощо (див., наприклад, [24, 25]). У термінах булевого квадратичного програмування може бути представлено багато задач теорії графів, зокрема задачі знаходження максимальної кліки і максимального зваженого розрізу графу [26]. Крім того, UBQP є загальною моделлю для широкого кола дискретних задач оптимізації. Приклади використання цієї задачі можна знайти під час розгляду задач розфарбування вершин графу, упаковки, розбиття, лінійного впорядкування та ін.

Для дослідження ефективності алгоритму ГРП проведено експериментальні розрахунки на множині 24 випадково згенерованих задач p3000.1,..., p10000.3 великої розмірності ($3000 \leq n \leq 10000$) із щільністю заповнення матриці від 0.5 до 1. Коди для генерування UBQP, які використовуються для перевірки ефективності розроблених алгоритмів, доступні на сайті http://www.soften.ktu.lt/~gintaras/ubqop_its.html. Звичайний набір тестів нами було розширено задачами з числом змінних $n = 10000$.

Алгоритм ГРП було порівняно з мультистартовим алгоритмом табу MST2 [27], оскільки його реалізація є однією з кращих для розв'язання задачі (7.21). Це впливає з порівняльного дослідження [27], де представлено результати з використанням інших відомих підходів, включаючи методи табу, відпалу, генетичний локальний пошук. Крім того, початковий код алгоритму доступний на згаданому вище сайті. Це дало змогу проводити обчислювальні експерименти,

в яких для запуску алгоритмів використовувався один і той самий персональний комп'ютер. Отже, поданий нижче час розв'язання задач може слугувати одним із параметрів для порівняння алгоритмів.

Кожна задача із представленої множини тестових задач розв'язувалася обома алгоритмами 20 разів за різних початкових значень датчика випадкових чисел. Алгоритм MST2 виконував 1000 ітерацій, витрачений ним на розв'язання задачі час (див. табл. 7.6) слугував критерієм зупинки для алгоритму ГРП. Такий план експериментів також дав можливість провести порівняння запропонованого алгоритму ГРП із перспективним гібридним метаевристичним алгоритмом НМА [28].

Таблиця 7.6 – Порівняння алгоритмів MST2 і GES

Задача	f(xBKS)	t max	success		g avr		t avr		t best	
			MST2	GES	MST2	GES	MST2	GES	MST2	GES
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
p5000.1	8559680	1320	0	6	396.9	234.75	408.37	391.70	—	325.27
p5000.2	10836019	1960	1	19	552.9	29.1	234.5	519.53	1228.11	25.14
p5000.3	10489137	1960	17	20	37.8	0.0	916.0	413.16	42.7	21.49
p5000.4	12252318	2360	1	8	700.3	291	1099.1	927.61	1778.45	219.45
p5000.5	12731803	2360	13	20	307.1	0.0	885.5	227.62	46.75	11.19
p6000.1	11384976	1740	20	19	0.0	12.15	232.8	125.21	68.23	28.11
p6000.2	14333855	2550	8	17	58.8	15.2	717.8	915.80	74.25	38.13
p6000.3	16132915	3060	10	20	1024.6	0.0	1566.9	738.75	253.48	17.08
p7000.1	14478676	2210	2	16	1447.6	123.5	1150.7	1196.4	1094.31	184.83
p7000.2	18249948	3170	0	6	1399.8	251.25	1481.40	1617.6	—	616.95
p7000.3	20446407	3170	20	20	0.0	0.0	296.8	215.37	109.26	50.33
p10000.1	24197906	3740	0	9	4023.9	1427.2	1719.08	2219.1	—	487.88
p10000.2	30627637	5260	0	3	4635.7	1068.85	2030.64	2584.0	—	2105.00
p10000.3	34690255	6330	0	1	3100,7	2326,85	3016.58	3253.25	—	5400,78

У таблиці 7.6 подано деякі результати обчислювальних експериментів з розв’язання тестових задач вигляду (7.21) алгоритмами MST2 і ГПІ (GES). Нехай $x^{max}(i)$ і $t^{max}(i)$ – відповідно рекордний (найкращий) розв’язок, знайдений алгоритмом, і час його знаходження для i -ї, $i = 1, \dots, 20$, спроби розв’язання задачі. У табл. 7.6, 7.7 використано такі позначення:

$$g^{avr} = f(x^{BKS}) - \frac{1}{20} \sum_{i=1}^{20} f(x^{max}(i)); \quad t^{avr} = \frac{1}{20} \sum_{i=1}^{20} t^{max}(i);$$

$$t^{best} = \min_{1 \leq i \leq 20} \{ t^{max}(i) \mid f(x^{max}(i)) \geq f(x^{BKS}) \};$$

$$I^{max} = \{ i \mid f(x^{max}(i)) \geq f(x^{BKS}) \}, \text{ success} = |I^{max}| \text{ (} |I^{max}| \text{ – потужність множини}$$

I^{max}) – число знайдених алгоритмом розв’язків задачі зі значенням цільової функції, не меншим рекорду $f(x^{BKS})$; t^{max} – максимальний час (в сек.), виділений на розв’язання задачі.

Аналіз результатів таблиці 7.6 показав, що алгоритм ГРП за всіма показниками перевершує алгоритм MST2. Відзначимо тільки повну «невдачу» алгоритму MST2 на тестових задачах для $n = 10000$, оскільки він не зміг навіть наблизитися до результатів алгоритму ГРП.

Далі до порівняння був підключений алгоритм НМА [28] (див. таблицю 7.7). Як відзначено в роботі [28], головною перевагою цього алгоритму є те, що він знаходить кращі розв'язки для кожної з тестових задач. Однак наведені в таблиці 7.7 дані показують, що алгоритм ГРП домінує і над алгоритмом НМА на множині розв'язаних задач.

Таблиця 7.7 – Порівняння алгоритмів НМА, MST2 і GES

Задача	Success			t best		
	НМА	MST2	GES	НМА	MST2	GES
1	2	3	4	5	6	7
p5000.1	4	0	6	153,20	>1200	458.63
p5000.2	6	1	14	98,70	>1200	35.45
p5000.3	14	17	17	364,50	60.21	30.30
p5000.4	3	1	5	789,60	>1200	309.42
p5000.5	16	13	20	212,30	65.92	15.78
p6000.1	12	20	19	727,70	96.20	39.64
p6000.2	6	8	12	965,30	104.69	53.76
p6000.3	3	10	16	676,50	357.41	24.08
p7000.1	5	2	15	987,30	1542.98	260.61
p7000.2	2	0	5	1254,70	>3000	869.90
p7000.3	7	20	20	1868,50	154.06	70.97

Таким чином, проведене порівняльне дослідження алгоритму ГРП з кращими алгоритмами MST2 і НМА розв'язання задачі (7.21) показало переваги алгоритму ГРП як за швидкістю, так і за можливістю отримання кращих розв'язків.

Задача про максимальний зважений розріз графу (WMAXCUT) – класична проблема дискретної оптимізації. Вона має численні практичні застосування [29, 30, 31] під час проєктування мереж зв'язку, надвеликих інтегральних схем, фазованих антенних решіток, моделювання нейронних мереж, розпізнавання образів, аналізу великих масивів даних тощо.

Задача про максимальний зважений розріз неорієнтованого графу має таку теоретико-графову інтерпретацію. Нехай задано неорієнтований граф $G = G(V, E)$ із множиною вершин V і множиною ребер E . Кожному ребру $(i, j) \in E$ графу поставлено у відповідність число w_{ij} – вага ребра (i, j) . Припустимо, що (V_1, V_2) – розбиття множини V вершин графу G на дві неперетинні підмножини V_1 і V_2 . Тоді множина ребер $(i, j) \in E$, таких, що $i \in V_1, j \in V_2$, називається розрізом (V_1, V_2) графу G . Очевидно, що будь-яке таке розбиття породжує розріз графу. Задача про максимальний зважений розріз неорієнтованого графу G полягає у знаходженні розрізу максимальної сумарної ваги $w(V_1, V_2) = \sum_{i \in V_1, j \in V_2, (i, j) \in E} w_{ij}$. Вона є NP-важкою навіть у випадку, коли всі ребра мають одиничну вагу.

Задача WMAXCUT може бути сформульована як задача булевого квадратичного програмування без обмежень. З іншого боку вона зводиться до зваженої задачі про максимальну виконуваність. Зведення WMAXCUT до вищеназваних двох моделей і застосування до них відомих алгоритмів ГРП [23, 32], очевидно, не було б ефективним. Тому для задачі про максимальний зважений розріз неорієнтованого графу було розроблено спеціальні алгоритми [33, 34, 35], що базуються на використанні методу ГРП і специфіки цієї задачі. У них специфіка розв'язуваної задачі враховується під час вибору алгоритму для процедури метод_пошуку. Використовується алгоритм, що дозволяє інтенсифікувати пошук і ефективно досліджувати області початкового розв'язку для його покращення. Зокрема, було використано рандомізовані алгоритми табу і локального пошуку LocS [33].

У роботі [7.35] розроблено алгоритм розв'язання задачі про максимальний зважений розріз графу, який базується на поєднанні ідей алгоритмів глобального рівноважного пошуку [14, 18, 19] і Path Relinking [36]. Схема алгоритму включає три етапи. На першому етапі за допомогою алгоритму ГРП генерується поточний розв'язок. Він разом з деяким елітним розв'язком є початковим для алгоритму ГРП на другому етапі, а пошук здійснюється на множині шляхів, що з'єднують ці розв'язки (ідея Path Relinking). Якщо знайдено розв'язок, кращий за поточний, він стає поточним. Цей етап виконується для всіх елітних (кращих) розв'язків. На третьому етапі формується деяка елітна множина. Для включення в неї поточний розв'язок повинен мати хороше значення цільової функції і перебувати досить далеко від цієї множини.

У процедурі метод_пошуку цього алгоритму реалізовано і досліджено три версії методу локального пошуку. Серед них алгоритми локального типу LocS і Tabu. Третім дослідженим алгоритмом пошуку є алгоритм Pr_LocS, який поєднує ідеї алгоритмів LocS і Path Relinking.

Для дослідження ефективності різних алгоритмів ГРП проведено численні обчислювальні експерименти [33, 34, 35]. Розрахунки виконувалися для двох множин тестових задач: 24 задачі G1, G2, G3, G11, ..., G16, G22, G23, G24, G32, ..., G37, G43, G44, G45, G48, G49 і G50, наведені в роботі [17], а також 20 задач sg3dl101000,..., sg3dl1010000, sg3dl141000,..., sg3dl1410000 із [18]. Ці задачі використовувалися раніше іншими авторами для перевірки ефективності їхніх алгоритмів, що дало змогу максимально розширити множину порівнюваних алгоритмів.

Спочатку було проведено розрахунки [33] для порівняння двох алгоритмів ГРП – GES Locs і GES Tabu, в яких у процедурі метод пошуку використано відповідно рандомізовані алгоритми локального типу і табу. Аналіз їхніх результатів показав, що кожен варіант алгоритму ГРП має свої переваги. Однак для тестових задач другої множини варіант GES Tabu перевершив перший варіант як за швидкістю так і за якістю знайдених розв'язків.

Далі було здійснено порівняння [33] алгоритму ГРП з п'ятьма кращими алгоритмами для цієї задачі. Аналіз отриманих результатів обчислювальних експериментів також свідчить про переваги алгоритму ГРП. Крім того, з його допомогою отримано нові рекорди для дев'яти задач першої множини.

В алгоритмі [35] у процедурі метод_пошуку крім алгоритмів локального типу і табу використовувався алгоритм Pr_LoS [7.36]. На основі трьох варіантів алгоритму ГРП (GES LoS, GES Tabu і GES Pr_LoS) виконано експериментальні розрахунки з розв'язання розглянутих вище двох типів тестових задач. Аналіз результатів проведеного порівняльного дослідження показав, що не дивлячись на деяке збільшення часових витрат найбільш ефективним для обох типів задач виявився новий варіант GES Pr_LoS. Зокрема, з його допомогою отримано ще один новий рекорд.

У роботі [34] запропоновано модифікацію алгоритму GES Tabu [33]. Для порівняльного дослідження ефективності алгоритму ГРП [33] та його модифікації [34] виконано експериментальні розрахунки з розв'язання тестових задач із [37] (була збільшена їхня кількість) та задач із [38]. З їхніх результатів випливає, що за допомогою методу ГРП покращено рекорди для 37 задач, для інших – знайдено відомі рекорди. За швидкодією метод ГРП також перевершує відомі методи.

З аналізу результатів експериментальних досліджень можна зробити висновки про високу ефективність і конкурентоспроможність методу ГРП під час розв'язання цього класу задач. Таким чином, на сьогоднішній день він, безперечно, є одним з кращих методів розв'язання задач про максимальний зважений розріз графу.

Метод ГРП знайшов також застосування і до інших задач дискретної оптимізації, зокрема, задач складання розкладу, про максимальну виконуваність, квадратичної задачі про призначення тощо.

7.3.2 Паралельні алгоритми ГРП

Розв'язання задач дискретної оптимізації великої розмірності потребує обробки великих обсягів інформації за прийнятний час. Таку можливість надають багатопроцесорні обчислювальні комплекси. Проте без ефективних і масштабованих паралельних методів їх не можна використовувати. Для розпаралелювання процесу розв'язання дискретних оптимізаційних задач важливу роль відіграють об'єднання (портфелі і команди) алгоритмів [19, 39, 40, 41, 42].

Нехай $A = \{A_1, \dots, A_m\}$ – множина алгоритмів, які працюють паралельно на p різних процесорах. Кожен алгоритм повинен розв'язувати одну і ту ж задачу. Будь-який процесор може використовуватися одним алгоритмом множини A , а один і той же алгоритм можна використовувати на різних процесорах (під час розпаралелювання його копій). Нехай ϵ рандомізований алгоритм розв'язання дискретної оптимізаційної задачі, випадкову поведінку якого визначає датчик псевдовипадкових чисел. Копією такого алгоритму будемо називати його варіант, одержаний за одного початкового значення цього датчика. Очевидно, що за різних початкових значень датчика створюються різні копії вихідного алгоритму, які дають змогу здійснювати пошук відмінних між собою розв'язків.

Об'єднанням алгоритмів назвемо деяку підмножину множини A алгоритмів, які працюють паралельно над розв'язанням однієї задачі. Цю підмножину задають списком $\text{union list}\{n_1 A_1, \dots, n_m A_m\}$ алгоритмів A_i із зазначенням кількості n_i , $i = 1, \dots, m$, використовуваних ними процесорів, причому $\sum_{i=1}^m n_i = p$.

Об'єднання алгоритмів, які не обмінюються інформацією і працюють незалежно один від одного, називають портфелем алгоритмів. Якщо алгоритми, що входять в об'єднання, обмінюються інформацією, то таке об'єднання називають командою алгоритмів.

У подальшому основну увагу зосереджено на задачі про максимальний зважений розріз графу, для якої найбільш ефективними виявилися алгоритми

глобальною рівноважною пошуку, і для них вдало відображена специфіка роботи об'єднань алгоритмів.

Проведено дослідження зі створення портфелів алгоритмів для задачі WMAXCUT. Спочатку було досліджено ефективність однорідних портфелів чотирьох алгоритмів ГРП [39] на основі численних експериментальних розрахунків з використанням чотирьохядерного персонального комп'ютера в режимі реального часу. Розв'язано 23 задачі з роботи [37] і 7 задач із [38]. Із отриманих даних можна зробити висновок, що застосування портфелів алгоритмів у порівнянні з одним алгоритмом потребує менше часових витрат та дає змогу знайти кращі розв'язки.

Значну увагу приділено командам алгоритмів ГРП та їхньому порівнянню з портфелями. У командах алгоритми обмінюються інформацією один з одним, причому розглядається проста стратегія обміну, де тільки рекордний розв'язок і відповідний йому рекорд є предметами обміну. Досліджено три стратегії обміну інформацією між алгоритмами команд [41], проведено їхнє порівняння.

Експериментальні розрахунки для задачі WMAXCUT проведено з використанням алгоритмів ГРП нового покоління GESPR, які базуються на поєднанні алгоритмів ГРП і Path Relinking [36]. Особливістю алгоритмів GESPR є проведення осциляції навколо найкращого знайденого розв'язку на основі методології Path Relinking [36]. Як і в [43], експерименти проведено з 71 тестовою задачею, які широко використовуються для перевірки алгоритмів розв'язання задач WMAXCUT. Ці задачі можна завантажити із <http://www.stanford.edu/~yyye/yyye/Gset/>. Вони включають тороїдальні, планарні та випадкові графи з числом вершин $|V|$ від 800 до 20 000 і значення ваги ребер 1, 0 або -1 .

Обчислювальні експерименти з розпаралелювання процесу розв'язання задачі WMAXCUT проведено за допомогою портфеля і трьох команд копій чотирьох алгоритмів GESPR з використанням PC Intel®Core™ i7-3770 CPU @ 3.40 Ghz і 8.0GB оперативної пам'яті в режимі реального часу. Інакше кажучи, всі алгоритми стартували одночасно.

На рис. 7.1 наведено усереднену динаміку процесу розв’язання задачі G81 великої розмірності (20000 вершин графу) за допомогою портфеля port і трьох команд team1, team2, team3 алгоритмів. Кожна точка графіка показує середній час знаходження розв’язку з відповідним значенням цільової функції. Жирною горизонтальною лінією виділено раніше відомий рекорд [43]. Ці результати вказують на вражаючий ефект при впровадженні обміну інформацією між алгоритмами команд у порівнянні з портфелем алгоритмів.

На основі отриманих результатів можна зробити висновок про високу обчислювальну ефективність алгоритму GESPR: портфель і команди алгоритмів GESPR знайшли кращі рекорди, ніж раніше відомі (9926 для задачі G77 і 14030 для графу G81) [43]. Важливо, що всі 3 команди перевершили портфель алгоритмів з точки зору якості розв’язків.

Експериментальні дослідження з розпаралелювання процесу розв’язання задач WMAXCUT виконувались також з використанням багатопроцесорного обчислювального комплексу SKIT-4 Інституту кібернетики. Зокрема, було розв’язано задачу G81.

На рис. 7.2 наведено результати експериментів, що стосуються прискорення процесу розв’язання задачі G81 за допомогою портфелів port з 8, 16, 32 алгоритмів і команд team з 8, 16, 32 алгоритмів ГРП порівняно з одним алгоритмом. Вони показали, що портфель із 32 алгоритмів ГРП у 32 рази швидше, ніж один алгоритм, знаходить розв’язок задачі із значенням цільової функції 14054. Команда team з 32 алгоритмів у 95 разів швидше, ніж один алгоритм, знаходить розв’язок з таким же значенням цільової функції.

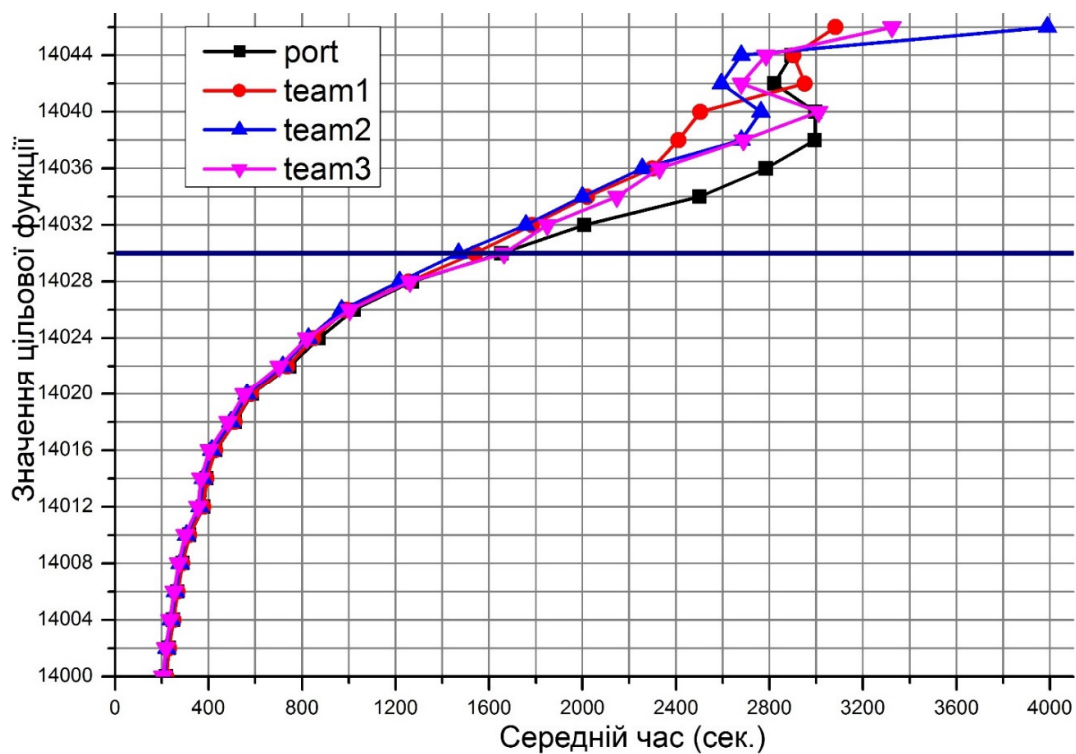


Рисунок 7.1 – Усереднена динаміка процесу розв’язання задачі G81

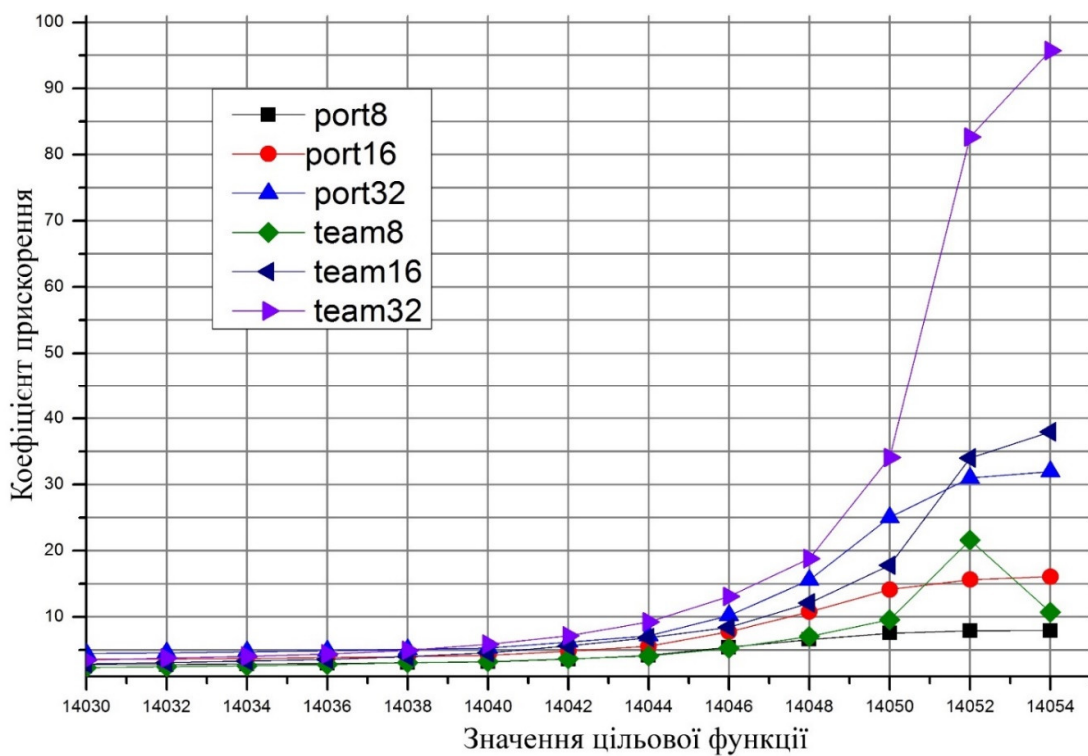


Рисунок 7.2 – Графіки прискорення процесу розв’язання задачі G81

Із аналізу отриманих результатів експериментальних розрахунків випливає, що з використанням команд алгоритмів досягається надлінійне прискорення. Це свідчить про перспективність подальших досліджень щодо розвитку

і вдосконалення команд алгоритмів, зокрема щодо розробки ефективних протоколів обміну інформацією, які входять до складу команд.

Проведено також теоретичне дослідження ефективності роботи об'єднань оптимізаційних алгоритмів [42], яке є одним із типів розпаралелювання обчислень. Побудовано марковську модель для аналізу обміну інформацією між оптимізаційними алгоритмами команд та лінійну модель випадкових ходів для дослідження ефективності цих команд. Для вивчення впливу обміну інформацією на ефективність роботи команд алгоритмів застосовувалась комбінація методів ГРП і Path Relinking. Вона також слугувала будівельним блоком для побудови портфелів і команд алгоритмів для розв'язання задачі про максимальний зважений розріз графу. Розроблено протокол зв'язку між алгоритмами як одну із багатьох можливих конфігурацій об'єднань. Встановлено оцінки ефективності конфігурацій об'єднань оптимізаційних алгоритмів, згідно з якими командний підхід забезпечує надлінійне прискорення пошуку високоякісних розв'язків, а портфель алгоритмів наближається до лінійного коефіцієнта прискорення. Оскільки використання паралельних обчислень в оптимізації ускладнено відсутністю масштабованих методів, запропонована теоретична база комунікації алгоритмів є важливим кроком уперед для реалізації цього потенціалу. Вона може бути використана для широкого класу оптимізаційних алгоритмів.

7.4 Моделювання задач оцінок відносної важливості елементів систем в МАІ

Метод аналізу ієрархій [44] запропонований американським вченим Томасом Сааті. Він є замкненою логічною конструкцією, яка за допомогою ієрархій, пріоритетів та простих математичних правил забезпечує аналіз складних проблем у всьому їх різноманітті. Метод аналізу ієрархій з успіхом використовується для розв'язання практичних задач та досить часто приводить до оптимальних відповідей для задач планування, прогнозування та інших. Він також може бути застосований для системного аналізу використання компонентів мультимедійного психомоделюючого середовища для підвищення ефективності реабілітації пацієнтів [45].

Метод аналізу ієрархій базується на двох складових. Перша складова пов'язана зі шкалою попарних порівнянь для представлення результатів оцінок у кількісному вигляді. При проведенні попарних порівнянь ставляться наступні запитання: «Який з елементів є важливішим? Який найвірогідніший? Який з них найефективніший?». Відносна важливість елементів оцінюється в балах від 1 до 9. Якщо при порівнянні одного елемента з іншим було отримано одне з вищевказаних чисел (1-9), то при порівнянні цього іншого з першим, матимемо обернену величину.

Другою складовою методу аналізу ієрархій є встановлення пріоритетів елементів за допомогою матриці їх попарних порівнянь, яка є обернено-симетричною, тобто для її будь-яких коефіцієнтів i та j виконується співвідношення $a_{ji} = 1/a_{ij}$. Якщо $n \times n$ -матриця A – обернено-симетрична матриця попарних порівнянь, то для n елементів пріоритет визначається за допомогою λ_A – максимального власного числа матриці A та відповідного йому власного вектора x_A , який задовольняє умові

$$Ax_A = \lambda_A x_A, \quad \sum_{i=1}^n (x_A)_i = 1,$$

Для матриць, компоненти якої є невід'ємними, число λ_A називають числом Фробеніуса, а вектор x_A називають вектором Фробеніуса. Число λ_A визначає величину $(\lambda_A - n)/(n - 1)$, яку називають індексом узгодженості (ІУ) матриці A . Вважається, що якщо ІУ не перевищує 0,10, то можна бути задоволеним ступенем узгодженості суджень. Значення компонент вектора x_A задають пріоритети відповідних їм елементів, які встановлюються на основі аналізу обернено-симетричної матриці A .

Розглянемо оптимізаційну задачу для корегування коефіцієнтів уже заданої матриці попарних порівнянь елементів. Тут критерієм буде мінімізація індексу узгодженості коефіцієнтів матриці (максимального власного числа обернено-симетричної матриці) при двох обмеженнях. Перше обмеження задає максимальне відхилення від заданих пріоритетів елементів так як у першій задачі,

а друге обмеження задає границю зверху на сумарне відхилення коефіцієнтів матриці попарних порівнянь від заданих. Результати розв'язання цієї задачі для корегування матриці попарних порівнянь, яка побудована лікарем фізичної реабілітаційної медицини для оцінки важливості чотирьох компонентів (відео, зображення, зони Захар'їна – Геда, концепція У-Сін) мультимедійного середовища при включенні їх в реабілітаційну програму [45]. Матриці попарних порівнянь, яка корегувалася, відповідають такі параметри

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 4 & 3 & 2 \\ 1/4 & 1 & 3 & 2 \\ 1/3 & 1/3 & 1 & 4 \\ 1/2 & 1/2 & 1/4 & 1 \end{pmatrix}, \lambda_A = 4,68, x_A = \begin{pmatrix} 0,47 \\ 0,24 \\ 0,18 \\ 0,11 \end{pmatrix}, IY_A = 0,23, \quad (7.22)$$

які наведено як варіант #0 в таблиці 7.14. В таблиці 7.14 наведено результати розв'язання оптимізаційної задачі – варіанти #1a і #2a для максимальної границі, рівної 4, та варіанти #1b і #2b для максимальної границі, рівної 6. Із таблиці видно, що для того щоб забезпечити індекс узгодженості матриці меншим за 0,1, потрібно змінити вихідну вагомість компонентів мультимедійного середовища при його розробці, через корегування коефіцієнтів матриці (7.22).

Таблиця 7.8 – Скориговані коефіцієнти матриці А згідно (7.36) для лікаря фізичної реабілітаційної медицини

Варіанти A, λ_A, x_A	#0	#1a	#2a	#1b	#2b
$A(1,2)$	4	2	3	2	2
$A(1,3)$	3	3	2	4	4
$A(1,4)$	2	4	3	3	3
$A(2,3)$	3	2	2	2	2
$A(2,4)$	2	2	2	2	2
$A(3,4)$	4	2	3	3	4
λ_A	4,6780	4,1241	4,1431	4,2072	4,3145
$x_A(1)$	0,47	0,46	0,46	0,47	0,047
$x_A(2)$	0,24	0,25	0,24	0,25	0,24
$x_A(3)$	0,18	0,18	0,19	0,17	0,19
$x_A(4)$	0,11	0,10	0,12	0,11	0,10
IY	0,226	0,041	0,048	0,069	0,105

Розрахунки для таблиці 7.8 були отримані за методом повного перебору невідомих коефіцієнтів від 1 до 9, та відсіву тих варіантів, які не задовольняють заданим обмеженням. Зауважимо, що для розв’язання оптимізаційної задачі можна використати метод вектору спаду [15], який повинен бути значно ефективнішим, ніж метод повного перебору. При цьому околom початкової точки (стартова матриця попарних порівнянь) можна визначити множину таких коефіцієнтів матриці, відстань від яких до початкової матриці відрізняється не більше ніж на границю зверху на сумарне відхилення коефіцієнтів матриці попарних порівнянь від заданих.

7.5 Вирішення оптимізаційних задач пацієнтоцентричних реабілітаційних програм

Побудовано дві сім’ї оптимізаційних моделей для знаходження оптимальних за вартістю та зваженістю реабілітаційних програм пацієнта. У пункті 7.5.1 описано задачі оптимального вибору кількості втручань для мультидисциплінарної команди фахівців, у пункті 7.5.2 – задачі оптимального вибору фахівців для реабілітаційної програми, у пункті 7.5.3 – оптимізаційну задачу вибору мультидисциплінарної команди фахівців для реалізації реабілітаційної програми пацієнта, вартість якої не перевищує заданої величини.

7.5.1 Задачі оптимального вибору втручань для реабілітаційної програми пацієнта

Розглянемо низку задач визначення оптимальної за лінійним та квадратичним критеріями кількості втручань для заданого набору фахівців, які реалізують реабілітаційну програму пацієнта. Ефективність (результативність) реабілітаційної програми визначається переходом від її великих значень початкових параметрів M_i^0 до малих значень кінцевих (terminal) параметрів M_i^T за рахунок впливу фахівців на значення параметрів M_i , $i = 1, 2, \dots, n$, де n – кількість параметрів реабілітаційної програми. Позначимо j , $j = 1, 2, \dots, m$, фахівця, а q_{ij} ,

$0 < q_{ij} < 1, i = 1, 2, \dots, n, j = 1, 2, \dots, m$, – ваговий коефіцієнт впливу фахівця j на параметр i .

Нехай c_j – вартість одного втручання фахівця j , а x_j – невідома кількість втручань, яка належить множині невід’ємних цілих чисел $\mathbb{Z}^{\geq}$.

Перша оптимізаційна задача має такий вигляд:

$$C_1^* = \min_{x_j \in \mathbb{Z}^{\geq}} \sum_{j=1}^m c_j x_j \quad \text{за обмежень} \quad M_i^0 \times \prod_{j=1}^m (q_{ij})^{x_j} \leq M_i^T, \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (7.23)$$

Вона є задачею знаходження C_1^* – мінімальної за вартістю кількості втручань для заданого набору фахівців, коли результативність реабілітаційної програми пацієнта визначається виконанням обмежень для всіх її параметрів.

Обмеження задачі (7.23) можна записати у вигляді

$$\prod_{j=1}^m (q_{ij})^{x_j} \leq M_i^T / M_i^0, \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (7.24)$$

Після логарифмування обмеження (7.24) можна записати у вигляді лінійних нерівностей

$$\sum_{j=1}^m \ln(q_{ij}) \cdot x_j \leq \ln(M_i^T / M_i^0), \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (7.25)$$

З урахуванням обмежень (7.24) та (7.25) задача (7.23) має еквівалентну форму запису у вигляді такої задачі цілочислового лінійного програмування:

$$C_1^* = \min_{x_j \in \mathbb{Z}^{\geq}} \sum_{j=1}^m c_j x_j \quad \text{за обмежень} \quad \sum_{j=1}^m \ln(q_{ij}) \cdot x_j \leq \ln(M_i^T / M_i^0), \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (7.26)$$

Якщо $M_i^T > 0$ для всіх $i = 1, 2, \dots, n$, то задача (7.26) має розв'язок $C_1^* = \sum_{j=1}^m c_j x_j^*$,

де x_j^* – знайдені оптимальні кількості втручань фахівців $j = 1, 2, \dots, m$. Зауважимо, що задача може мати не єдиний оптимальний розв'язок $(x_1^*, x_2^*, \dots, x_m^*)$.

Якщо $c_j = 1$ для всіх $j = 1, 2, \dots, m$, то розв'язком задачі (7.26) є $\sum_{j=1}^m x_j^*$ – мінімальна кількість втручань для всіх фахівців.

Розглянемо обчислювальний експеримент, в якому реабілітаційну програму пацієнта визначають чотири фахівці мультидисциплінарної команди: ерготерапевт, фізіотерапевт, психолог та лікар ФРМ за трьома параметрами за кодами МКФ: b7101.3 – рухливість декількох суглобів; d4458.4 – використання кисті та руки, інше уточнене; e410.3 – індивідуальні ставлення найближчих родичів. У табл. 7.9 для задачі (7.26) наведено вихідні дані (початкове та кінцеве значення станів пацієнта за параметрами, сила впливу фахівців на параметри та вартість їхніх одноразових втручань) та результати розрахунку (оптимальна кількість втручань фахівців, їхня мінімальна вартість та розрахункове значення стану пацієнта після завершення реабілітаційної програми). Розрахункові значення параметрів стану пацієнта обчислювалися за формулою $M_i = M_i^0 \times \prod_{j=1}^m (q_{ij})^{x_j^*}$, $i = 1, 2, 3$.

Для розв'язання задачі цілочислового лінійного програмування (7.26) та всіх далі наведених оптимізаційних задач цілочислового лінійного та квадратичного програмування використовувався розв'язувач Gurobi [46] з мовою моделювання AMPL [47]. Розрахунки проводилися на NEOS-сервері [48] за допомогою розв'язувача Gurobi версії 11.0.1.

З таблиці 7.9 видно, що оптимальний план для мінімальної за вартістю реабілітаційної програми коштує 1320 у.о. та реалізується за 12 втручань фізіотерапевта та чотири втручання лікаря ФРМ, що зумовлено їхніми дешевими одноразовими втручаннями порівняно з вартостями одноразових втручань ерготерапевта та психолога. Нульові кількості втручань ерготерапевта та психолога

в оптимальному плані не дають змоги залучити їх до виконання реабілітаційної програми пацієнта.

Таблиця 7.9 – Дані та результати розрахунку для тестового прикладу задачі (7.26)

Коди МКФ	Значення стану пацієнта		Вагові коефіцієнти впливу фахівців				Розрахункове значення стану пацієнта
	Початкове	Кінцеве	Ерго-терапевт	Фізіо-терапевт	Психолог	Лікар ФРМ	
b7101.3	3	0.5	0.85	0.87	0.89	0.9	0.459459
d4458.4	4	1	0.88	0.88	0.86	0.91	0.618021
e410.3	3	0.5	0.9	0.9	0.9	0.87	0.485410
Вартість одного втручання			100	80	110	90	$C_1^* = 1320,$ $\sum x_j^* = 16$
Оптимальна кількість втручань			0	12	0	4	

Щоб унеможливити нульові значення втручань фахівців та навантажити їх рівномірніше, можна мінімізувати $\sum_{j=1}^m w_j x_j^2$ – зважену суму квадратів кількостей втручань, де w_j – вага пріоритету фахівця j за кількістю його втручань у реабілітаційній програмі пацієнта. Чим вища вага пріоритету фахівця, тим менша кількість втручань буде йому призначена.

З огляду на викладене отримуємо задачу цілочислового квадратичного програмування

$$W_1^* = \min_{x_j \in \mathbb{Z}^+} \sum_{j=1}^m w_j x_j^2 \quad (7.27)$$

за обмежень $\sum_{j=1}^m \ln(q_{ij}) \cdot x_j \leq \ln(M_i^T / M_i^0), \quad i = 1, 2, \dots, n,$

розв'язок якої буде означати залучення якомога більшої кількості фахівців до виконання реабілітаційної програми пацієнта.

Це підтверджують наведені в табл. 7.10 результати розрахунку для п'яти варіантів задачі (7.27) з вихідними даними реабілітаційної програми з табл. 7.9.

Розглянуті варіанти тестової задачі (7.27) характеризуються різними значеннями ваг пріоритетів фахівців за кількістю втручань. У варіанті 1 усі ваги є одиничними, що означає однаковий пріоритет усіх чотирьох фахівців. У варіантах 2, 4 та 5 пріоритет фізіотерапевта та лікаря ФРМ у два, десять та сто разів вищий, ніж пріоритет ерготерапевта та психолога. У варіанті 3 пріоритет ерготерапевта та психолога в два рази вищий, ніж пріоритет фізіотерапевта та лікаря ФРМ.

Таблиця 7.10 – Результати розрахунку задачі (7.27) для тестового прикладу за різних w_j

Фахівці	Результати обчислення									
	Варіант 1		Варіант 2		Варіант 3		Варіант 4		Варіант 5	
	w_j	x_j^*	w_j	x_j^*	w_j	x_j^*	w_j	x_j^*	w_j	x_j^*
Ерготерапевт	1	4	2	3	1	6	10	1	100	0
Фізіотерапевт	1	4	1	6	2	3	1	10	1	11
Психолог	1	3	2	2	1	5	10	0	100	0
Лікар ФРМ	1	5	1	5	2	3	1	5	1	6
W_1^*	66		87		97		135		157	
$\sum c_j x_j^*$	1500		1450		1660		1350		1420	
$\sum x_j^*$	16		16		17		16		17	
M_1 (b7101.3)	0.489398		0.489657		0.356708		0.490175		0.476623	
M_2 (d4458.4)	0.603054		0.617078		0.463724		0.646113		0.594424	
M_3 (e410.3)	0.485045		0.479715		0.477605		0.469229		0.408229	

З табл. 7.10 видно, що розподіл кількості втручань більш рівномірний між фахівцями у варіанті 1, якому відповідає $W_1^* = 66$ – найменше оптимальне значення цільової функції в задачі (7.27). Але при цьому сильно зростає вартість

реабілітаційної програми, яка становить 1500 у.о., що значно перевищує мінімальну вартість у 1320 у.о. Розподіл кількостей втручань менш рівномірний у варіантах 3 та 4, де до реалізації реабілітаційної програми пацієнта залучені всі фахівці. При цьому у варіанті 3 навантаження фахівців рівномірніше, ніж у варіанті 2, але він містить на одне втручання більше, ніж варіант 2, та є дорожчим на 210 у.о. (1660 у.о.). До виконання реабілітаційної програми у варіанті 4 залучені три фахівці (ерготерапевт, фізіотерапевт, лікар ФРМ), а у варіанті 5 – два фахівці (фізіотерапевт, лікар ФРМ). При цьому варіант 4 містить на одне втручання менше, ніж варіант 5, та є дешевшим на 70 у.о. (1420 у.о.).

Вартість реабілітаційної програми є одним з важливих пріоритетів для пацієнта. Вартості програм для п'яти варіантів (див. табл. 7.10) коливаються в діапазоні від 1350 до 1660 у.о. Тому вибір дешевої реабілітаційної програми пацієнта, до виконання якої залучено всіх фахівців, є актуальною задачею. Розв'язати її можна, сформулювавши задачу (7.27) з додаванням обмеження на вартість реабілітаційної програми. Отже, отримуємо задачу цілочислового квадратичного програмування: знайти

$$W_p^* = \min_{x_j \in \mathbb{Z}^+} \sum_{j=1}^m w_j x_j^2 \quad (7.28)$$

за обмежень

$$\sum_{j=1}^m \ln(q_{ij}) \cdot x_j \leq \ln(M_i^T / M_i^0), \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (7.29)$$

$$\sum_{j=1}^m c_j x_j \leq C_p, \quad (7.30)$$

де $C_p \geq C_1^*$ – витрати на виконання реабілітаційної програми пацієнта.

У табл. 7.11 наведено сім розв'язків задачі (7.27) з вихідними даними реабілітаційної програми з табл. 7.9 та однаковими вагами пріоритету фахівців, що дорівнюють 1. Перший розв'язок отримано для $C_p = 1320$, що відповідає мінімальній за вартістю реабілітаційній програмі пацієнта (див. табл. 7.9).

Розв'язки, починаючи з другого, отримані для значень C_p , які монотонно збільшуються від 1340 до 1510.

Таблиця 7.11 – Результати розрахунку задачі (7.28)-(7.30) для тестового прикладу для різних C_p

Фахівець	Результати обчислень для різних значень C_p						
	1320	1340	1350	1400	1450	1500	1510
Ерготерапевт	0	1	1	2	3	4	4
Фізіотерапевт	12	11	10	8	6	4	4
Психолог	0	0	0	1	2	3	3
Лікар ФРМ	4	4	5	5	5	5	5
W_p^*	160	138	126	94	74	66	66
$\sum c_j x_j^*$	1320	1340	1350	1400	1450	1500	1500

З табл. 7.11 видно, що вже для $C_p = 1400$ до виконання реабілітаційної програми залучені чотири фахівці, хоча психолог виконує лише одне втручання. Оптимальний за квадратичним критерієм (зважена сума квадратів кількостей інтервенцій) розв'язок задачі (7.28)-(7.30) реалізується для $C_p = 1500$. У разі збільшення величини C_p розв'язок задачі (7.28)-(7.30) не зміниться (див табл. 7.11, стовпець $C_p = 1510$).

7.5.2 Задачі оптимального вибору фахівців для реабілітаційної програми

Розглянемо дві задачі оптимального вибору фахівців, які реалізують реабілітаційну програму пацієнта, та визначення кількостей втручань вибраними фахівцями. Оптимальний вибір фахівців буде визначатися за лінійним критерієм вартості реабілітаційної програми та квадратичним критерієм залучення якомога більшої кількості фахівців для виконання реабілітаційної програми пацієнта. Аналогічно до задач із пункту 7.5.1, результативність реабілітаційної

програми визначається переходом від її більших значень початкових параметрів M_i^0 до менших значень кінцевих параметрів $M_i^T > 0$ за рахунок впливу вибраних фахівців на параметри M_i , $i = 1, 2, \dots, n$, де n – кількість параметрів реабілітаційної програми.

Позначимо j , $j = 1, 2, \dots, m$, тип (спеціальність) фахівця; k , $k = 1, 2, \dots, m_j$, – конкретного фахівця заданого типу, де m_j – кількість фахівців типу j ; q_{ijk} , $0 < q_{ijk} < 1$, $i = 1, 2, \dots, n$, $j = 1, 2, \dots, m$, $k = 1, 2, \dots, m_j$, – ваговий коефіцієнт впливу k -го фахівця j -го типу на параметр i .

Нехай x_{jk} – невідома кількість втручань k -го фахівця j -го типу, яка належить множині невід’ємних цілих чисел $\mathbb{Z}^{\geq}$, а y_{jk} – булева змінна, яка дорівнює 1, якщо k -й фахівець j -го типу залучений до виконання реабілітаційної програми, та дорівнює 0 в іншому випадку. За виконання реабілітаційної програми будуть відповідати лінійні нерівності

$$\sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^{m_j} \ln(q_{ijk}) \cdot x_{jk} \leq \ln(M_i^T / M_i^0), \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (7.31)$$

а за вибір тільки одного фахівця кожного типу – такі лінійні рівності та нерівності:

$$\sum_{k=1}^{m_j} y_{jk} = 1, \quad j = 1, 2, \dots, m, \quad (7.32)$$

$$x_{jk}^{low} \cdot y_{jk} \leq x_{jk} \leq x_{jk}^{up} \cdot y_{jk}, \quad j = 1, 2, \dots, m, \quad k = 1, 2, \dots, m_j, \quad (7.33)$$

де x_{jk}^{low} та x_{jk}^{up} – задані нижня та верхня межі для кількості втручань k -го фахівця, $k = 1, 2, \dots, m_j$, j -го типу, $j = 1, 2, \dots, m$.

Нехай c_{jk} – вартість однієї інтервенції k -го фахівця j -го типу, а w_{jk} – вага пріоритету за кількістю втручань k -го фахівця j -го типу в реабілітаційній програмі пацієнта.

Задача знаходження мінімальної за вартістю кількості втручань для вибраних фахівців кожного типу має вигляд такої задачі цілочислового лінійного програмування:

$$C_2^* = \min_{x_{jk} \in \mathbb{Z}^+, y_{jk} \in \{0,1\}} \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^{m_j} c_{jk} x_{jk} \quad (7.34)$$

за обмежень (7.31)-(7.33).

Для унеможливлення нульових значень інтервенцій вибраних фахівців та для їхнього рівномірнішого навантаження достатньо розв'язати задачу цілочислового квадратичного програмування

$$W_2^* = \min_{x_{jk} \in \mathbb{Z}^+, y_{jk} \in \{0,1\}} \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^{m_j} w_{jk} x_{jk}^2 \quad (7.35)$$

за обмежень (7.31)-(7.33).

Якщо задіяно лише одного фахівця кожного типу, то задача (7.34) відповідає задачі (7.26), а задача (7.35) – задачі (7.27). Указані задачі будуть еквівалентними, якщо всі нижні межі для кількості втручань дорівнюватимуть 0, а усі верхні межі для кількості втручань будуть не меншими за максимальну допустиму кількість втручань кожного фахівця. Якщо це не так, то двосторонні нерівності (7.33) переходять у такі двосторонні нерівності:

$$x_j^{low} \leq x_j \leq x_j^{up}, \quad j = 1, 2, \dots, m, \quad (7.36)$$

які надають можливість накладати певні вимоги для кількості втручань для конкретних фахівців. Так, наприклад, якщо покласти $x_1^{low} = x_1^{up} = 4$, то завдяки двостороннім обмеженням (7.36) першому фахівцю буде призначено чотири втручання в реабілітаційній програмі пацієнта.

Для задач (7.34) та (7.35) розглянемо обчислювальний експеримент, де для реалізації реабілітаційної програми пацієнта вибирають чотирьох фахівців мультидисциплінарної команди: ерготерапевта (з двох кандидатів), фізіотерапевта (з трьох кандидатів), психолога (з двох кандидатів) та лікаря ФРМ (з двох

кандидатів). До того ж, результат реабілітаційної програми визначається наведеними в табл. 7.9 початковими та кінцевими значеннями стану пацієнта за трьома параметрами: b7101.3 (рухливість декількох суглобів), d4458.4 (використання кисті та руки, інше уточнене), e410.3 (індивідуальні ставлення найближчих родичів). Для всіх дев'яти фахівців у табл. 7.12 наведено вагові коефіцієнти впливу на вказані три параметри (стовпчики q_{1jk} , q_{2jk} , q_{3k}).

У табл. 7.12 наведено розв'язок задачі (7.34), де вартості одного втручання кожного фахівця задано у стовпчику c_{jk} , та розв'язок задачі (7.35), де усі ваги пріоритету дорівнюють 1 (стовпчик w_{jk}). Тут наведені відповідні цим розв'язкам вартості та зваженості реабілітаційних програм, досягнуті параметри стану пацієнта, сумарна кількість втручань для мультидисциплінарної команди. Розрахункові значення параметрів стану пацієнта обчислено у такий спосіб:

$$M_i = M_i^0 \times \prod_{j=1}^m \prod_{k=1}^{m_j} (q_{ijk})^{x_{jk}^*} \text{ для всіх } i = 1, 2, 3.$$

Таблиця 7.12 – Результати розрахунку задач (7.34) та (7.35) для тестового прикладу

Тип фахівця	Номер фахівця	Результати обчислення								
		q_{1jk}	q_{2jk}	q_{3k}	c_{jk}	x_{jk}^*	y_{jk}^*	w_{jk}	x_{jk}^{**}	y_{jk}^{**}
Ерготерапевт	1	0.85	0.87	0.89	100	7	1	1	4	1
	2	0.95	0.88	0.88	80	0	0	1	0	0
Фізіотерапевт	1	0.86	0.92	0.90	110	0	1	1	3	1
	2	0.90	0.91	0.87	90	0	0	1	0	0
	3	0.94	0.90	0.89	94	0	0	1	0	0
Психолог	1	0.89	0.89	0.85	95	0	0	1	0	0
	2	0.88	0.95	0.86	100	0	1	1	3	1
Лікар ФРМ	1	0.88	0.90	0.92	105	0	0	1	0	0
	2	0.91	0.87	0.85	85	7	1	1	4	1
Вартість реабілітаційної програми		–	–	–	$C_2^* = 1295$			$C_2 = 1370$		

Досягнуті параметри стану пацієнта	$M_1 = 0.496985, M_2 = 0.569285, M_3 = 0.425387$				
Зваженість реабілітаційної програми	–	–	–	$W_2 = 98$	$W_2^* = 50$
Досягнуті параметри стану пацієнта	$M_1 = 0.465485, M_2 = 0.876493, M_3 = 0.455596$				
Сумарна кількість втручань	–	–	–	$\sum x_{jk}^* = 14$	$\sum x_{jk}^{**} = 14$

З табл. 7.12 (стовпчики x_{jk}^* та y_{jk}^*) видно, що мінімальну за вартістю реабілітаційну програму з 14 втручаннями реалізують два фахівці: ерготерапевт 1 та лікар ФРМ 2 виконують по сім втручань. Зауважимо, що у реабілітаційній програмі формально задіяні ще два фахівці: фізіотерапевт 1 та психолог 2, але їм відповідає нульова кількість втручань. Мінімальна вартість реабілітаційної програми становить $C_2^* = 1295$, а досягнуті параметри стану пацієнта є меншими за кінцеві значення $M_1^T = 0.5, M_2^T = 1, M_3^T = 0.5$.

Оптимальну за зваженістю реабілітаційну програму пацієнта (див. табл. 7.12, стовпчики x_{jk}^{**} та y_{jk}^{**}) реалізують за 14 втручань чотири фахівці: ерготерапевт 1 та лікар ФРМ 2 виконують по чотири втручання, а фізіотерапевт 1 та психолог 2 виконують по три втручання. Вартість отриманої реабілітаційної програми становить $C_2 = 1370$, вона зросла та є більшою за мінімальну вартість $C_2^* = 1295$ на 5.8 % ($100 \cdot (1370 - 1295) / 1295$). Досягнуті параметри стану пацієнта є меншими за необхідні кінцеві значення $M_1^T = 0.5, M_2^T = 1, M_3^T = 0.5$.

У розрахунках табл. 7.12 не були враховані нижні та верхні межі для кількості втручань для потенційних фахівців мультидисциплінарної команди. Якщо їх врахувати, то можна керувати призначенням тієї чи іншої кількості втручань для конкретних фахівців мультидисциплінарної команди.

У табл. 7.13 наведено аналогічні до табл. 7.12, для задачі (7.34), де використовуються три різні, але однакові для всіх кандидатів в мультидисциплінарну команду, верхні межі (їхні значення 6, 5 та 4) для кількості втручань. Також у табл. 7.13 наведено оптимальний вибір фахівців для реабілітаційних

програм (стовпчики x_{jk}^* , y_{jk}^* для відповідного x_{jk}^{up}), вартість та зваженість отриманих реабілітаційних програм, сумарну кількість втручань для отриманого складу мультидисциплінарних команд.

Таблиця 7.13 – Залежність розв’язків задачі (7.34) від верхніх меж для кількості втручань

Тип фахівця	Номер фахівця	c_{jk}	Результати обчислень								
			Межа 1			Межа 2			Межа 3		
			x_{jk}^{up}	x_{jk}^*	y_{jk}^*	x_{jk}^{up}	x_{jk}^*	y_{jk}^*	x_{jk}^{up}	x_{jk}^*	y_{jk}^*
Ерготерапевт	1	100	6	6	1	5	5	1	4	4	1
	2	80	6	0	0	5	0	0	4	0	0
Фізіотерапевт	1	110	6	0	0	5	0	0	4	2	1
	2	90	6	6	1	5	2	1	4	0	0
	3	94	6	0	0	5	0	0	4	0	0
Психолог	1	95	6	0	1	5	5	1	4	4	1
	2	100	6	0	0	5	0	0	4	0	0
Лікар ФРМ	1	105	6	0	0	5	0	0	4	0	0
	2	85	6	2	1	5	2	1	4	4	1
Вартість реабілітаційної програми			1310			1325			1340		
Зваженість реабілітаційної програми			76			58			52		
Сумарна кількість втручань			14			14			14		

З табл. 7.13 видно, що для першого розрахунку, де всі верхні межі для кількості інтервенцій є рівними 6, реабілітаційну програму реалізують три фахівці за 14 втручань: ерготерапевт 1 та фізіотерапевт 2 виконують по шість втручань, а лікар ФРМ 2 виконує два втручання. Тут не задіяний психолог 2, оскільки для нього кількість втручань дорівнює 0. Для другого розрахунку (верхні межі становлять 5) сумарна кількість втручань дорівнює 14, але тут задіяні чотири фахівці: ерготерапевт 1 та психолог 1 виконують по п’ять втручань, а фізіотерапевт 2 та лікар ФРМ 2 виконують по два втручання. Для третього розрахунку (верхні межі становлять 4) сумарна кількість втручань є також

рівною 14 та задіяні чотири фахівці: ерготерапевт 1, психолог 1 та лікар ФРМ 2 виконують по чотири втручання, а фізіотерапевт 1 – два втручання.

Для всіх трьох розрахунків з таблиці 7.13 досягнуті параметри стану пацієнта є меншими за необхідні кінцеві значення $M_1^T = 0.5, M_2^T = 1, M_3^T = 0.5$. Для першого розрахунку вони набувають таких значень: $M_1 = 0.497935$, $M_2 = 0.745525$, $M_3 = 0.467105$, для другого розрахунку – $M_1 = 0.498579$, $M_2 = 0.697795$, $M_3 = 0.406483$, а для третього розрахунку – $M_1 = 0.498333$, $M_2 = 0.697188$, $M_3 = 0.415449$.

У міру того як зменшуються верхні межі для кількості втручань вартості реабілітаційних програм зростають від 1310 до 1340 у.о., а їхня зваженість зменшується від 76 до 52. Для кожного варіанта вартість реабілітаційної програми буде зростати, якщо враховувати додаткові умови для кількості втручань. Так, наприклад, якщо для варіанта 3 нижня межа для кількості втручань фізіотерапевта 1 буде становити 3, то розв'язком задачі буде реабілітаційна програма для такої мультидисциплінарної команди: ерготерапевт 1, фізіотерапевт 2, психолог 1 – по чотири втручання, а лікар ФРМ 2 – два втручання. При цьому вартість реабілітаційної програми збільшується на 10 у. о. та складає 1350 у.о., а її зваженість не змінюється та дорівнює 52.

7.5.3 Задача вибору фахівців для реабілітаційної програми заданої вартості

Вартість реабілітаційної програми є одним з важливих пріоритетів для пацієнта. Тому далі розглянемо оптимізаційну задачу вибору мультидисциплінарної команди фахівців, яка реалізує реабілітаційну програму пацієнта, що не перевищує заданої вартості та до виконання якої залучають якомога більше фахівців. Для цього модифікуємо формулювання задачі (7.35), до якого додамо обмеження на вартість реабілітаційної програми. Отримаємо задачу цілочислового квадратичного програмування: знайти

$$W_q^* = \min_{x_{jk} \in \mathbb{Z}^{\geq}, y_{jk} \in \{0,1\}} \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^{m_j} w_{jk} x_{jk}^2 \quad (7.37)$$

(w_{jk} – вага пріоритету за кількістю втручань для k -го фахівця j -го типу в реабілітаційній програмі пацієнта) за обмежень

$$\sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^{m_j} \ln(q_{ijk}) \cdot x_{jk} \leq \ln(M_i^T / M_i^0), \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (7.38)$$

$$\sum_{k=1}^{m_j} y_{jk} = 1, \quad j = 1, 2, \dots, m, \quad (7.39)$$

$$\sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^{m_j} c_{jk} \cdot x_{jk} \leq C_q, \quad (7.40)$$

$$x_{jk}^{low} \cdot y_{jk} \leq x_{jk} \leq x_{jk}^{up} \cdot y_{jk}, \quad j = 1, 2, \dots, m, \quad k = 1, 2, \dots, m_j. \quad (7.41)$$

Тут $C_q \geq C_2^*$ – витрати на вибір мультидисциплінарної команди фахівців для виконання реабілітаційної програми пацієнта; c_{jk} – вартість одного втручання k -го фахівця j -го типу в реабілітаційній програмі пацієнта; x_{jk} – невідома кількість втручань k -го фахівця j -го типу (невід’ємне ціле число); y_{jk} – булева змінна, яка дорівнює 1, якщо k -го фахівця j -го типу вибрано для виконання реабілітаційної програми, та дорівнює 0 в іншому випадку.

Цільова функція (7.37) задає критерій для вибору мінімальної за зваженістю реабілітаційної програми. Обмеження (7.38) відповідають за виконання реабілітаційної програми, яка визначається переходом від її більших значень початкових параметрів M_i^0 до менших значень кінцевих параметрів M_i^T за рахунок впливу вибраних фахівців на значення параметрів

$$M_i = M_i^0 \times \prod_{j=1}^m \prod_{k=1}^{m_j} (q_{ijk})^{x_{jk}}, \quad i = 1, 2, \dots, n,$$

де n – кількість параметрів реабілітаційної програми. Обмеження (7.39) відповідають за вибір тільки одного фахівця кожного типу.

Обмеження (7.40) відповідає за вартість вибраної реабілітаційної програми, щоб вона була не більшою за C_q – задану вартість. Обмеження (7.41)

відповідають за те, щоб кількість втручань k -го фахівця j -го типу була не меншою за нижню межу x_{jk}^{low} та не більшою за верхню межу x_{jk}^{up} , $j=1,2,\dots,m$, $k=1,2,\dots,m_j$.

Якщо задіяно лише одного фахівця кожного типу, то задача (7.37)–(7.39) переходить у задачу цілочислового квадратичного програмування: знайти

$$W_p^* = \min_{x_j \in \mathbb{Z}^+} \sum_{j=1}^m w_j x_j^2 \quad (7.42)$$

за обмежень

$$\sum_{j=1}^m \ln(q_{ij}) \cdot x_j \leq \ln(M_i^T / M_i^0), \quad i=1,2,\dots,n, \quad (7.43)$$

$$\sum_{j=1}^m c_j \cdot x_j \leq C_p, \quad (7.44)$$

$$x_j^{low} \leq x_j \leq x_j^{up}, \quad j=1,2,\dots,m \quad (7.45)$$

де C_p – витрати на виконання реабілітаційної програми пацієнта. Задача (7.42)–(7.44) є розширенням задачі (7.28)–(7.30), щоб можна було враховувати нижні та верхні межі для кількості втручань для фахівців мультидисциплінарної команди. Двобічні обмеження (7.45) надають можливість користувачу задавати певні вимоги для кількості втручань для тих чи інших конкретних фахівців.

Зваженість реабілітаційної програми пацієнта для задачі (7.39)–(7.41) визначає оптимальне значення цільової функції (7.37), яка залежить від вибраних значень w_{jk} – ваг пріоритету за кількістю втручань для кандидатів в мультидисциплінарну команду. Тому, вибираючи ті чи інші значення ваг пріоритету, можна керувати підбором фахівців у мультидисциплінарну команду. Продемонструємо це на тестовому прикладі із пункту 7.5.2 (див. табл. 7.12), результати розрахунку для якого наведено в табл. 7.14 та 7.15 для двох наборів ваг пріоритету для кандидатів в мультидисциплінарну команду.

У табл. 7.14 наведено розв’язки задачі (7.37)-(7.41) за кількістю втручань, де усі ваги пріоритету дорівнюють 1, для восьми різних значень вартості реабілітаційної програми: від 1295 у. о. до 1390 у. о. У табл. 7.15 наведено розв’язки задачі (7.37)-(7.41) для тих самих восьми значень вартості реабілітаційної програми, де для фізіотерапевта 1 та психолога 2 ваги пріоритету вибирали в два рази більшими, ніж для всіх інших фахівців. Це означає що останнім двом вказаним фахівцям відводилась менша роль у формуванні мультидисциплінарної команди, ніж іншим семи фахівцям. У табл. 7.14 та 7.15 наведені відповідні всім розв’язкам оптимальні зваженості реабілітаційних програм для W_q^* та їхні реальні вартості $\sum \sum c_{jk} x_{jk}^*$. Останні можуть бути меншими за задані вартості, які потрібно зберегти для реабілітаційної програми пацієнта (такі випадки виділено жирним шрифтом в останньому рядку обох таблиць).

Таблиця 7.14 – Розв’язки задачі (7.37)-(7.41) для ваг пріоритету $w_{jk} \equiv 1$

Тип фахівця	Результати обчислень для C_q							
	1295	1310	1320	1325	1350	1370	1380	1390
Ерготерапевт 1	7	6	6	5	5	4	3	4
Ерготерапевт 2	0	0	0	0	0	0	0	0
Фізіотерапевт 1	0	0	0	0	0	3	4	4
Фізіотерапевт 2	0	2	3	3	3	0	0	0
Фізіотерапевт 3	0	0	0	0	0	0	0	0
Психолог 1	0	2	2	3	3	0	0	0
Психолог 2	0	0	0	0	0	3	3	3
Лікар ФРМ 1	0	0	0	0	0	0	0	0
Лікар ФРМ 2	7	4	3	3	3	4	4	4
W_q^*	98	60	58	52	52	50	50	50
$\sum \sum c_{jk} x_{jk}^*$	1295	1310	1315	1325	1325	1370	1380	1380

Перший розв'язок у табл. 7.14 відповідає $C_q = 1295$ та реалізує мінімальну за вартістю реабілітаційну програму пацієнта з 14 втручаннями (див. табл. 7.12), де задіяні два фахівці: ерготерапевт 1 та лікар ФРМ 2 по сім втручань. Розв'язки, починаючи з другого, отримані за значень C_q , які монотонно збільшуються від 1310 до 1380. З табл. 7.14 видно, що для вартостей C_q у діапазоні від 1310 до 1350 для виконання реабілітаційної програми задіяні чотири фахівці: ерготерапевт 1, фізіотерапевт 2, психолог 1 та лікар ФРМ 2. Для вартостей C_q у діапазоні від 1370 до 1390 для виконання реабілітаційної програми задіяні також чотири фахівці, але у іншому складі: ерготерапевт 1, фізіотерапевт 1 (замість фізіотерапевта 2), психолог 2 (замість психолога 1) та лікар ФРМ 2.

Таблиця 7.15 – Розв'язки задачі (7.37)–(7.41) для ваг $w_{jk} \equiv 1$, $w_{21} = w_{32} = 2$

Тип фахівця	Результати обчислень для C_q							
	1295	1310	1320	1325	1350	1370	1380	1390
Ерготерапевт 1	7	6	6	6	4	4	4	4
Ерготерапевт 2	0	0	0	0	0	0	0	0
Фізіотерапевт 1	0	0	0	0	0	0	0	0
Фізіотерапевт 2	0	2	3	3	4	4	4	4
Фізіотерапевт 3	0	0	0	0	0	0	0	0
Психолог 1	0	2	2	2	4	4	4	4
Психолог 2	0	0	0	0	0	0	0	0
Лікар ФРМ 1	0	0	0	0	0	0	0	0
Лікар ФРМ 2	7	4	3	3	2	2	2	2
W_q^*	98	60	58	58	52	52	52	52
$\sum \sum c_{jk} x_{jk}^*$	1295	1310	1315	1315	1350	1350	1350	1350

Перші три розв'язки задачі (7.37)–(7.41) у табл. 7.15 (такі ж як і розв'язки в табл. 7.14) отримані за вартостями $C_q = 1295$, $C_q = 1310$ та $C_q = 1320$. Вони визначають реабілітаційні програми пацієнта з 14 втручань, в яких задіяні два

фахівці: ерготерапевт 1 та лікар ФРМ 2, та чотири фахівці: ерготерапевт 1, фізіотерапевт 2, психолог 1 та лікар ФРМ 2. Чотири наступних розв'язки відрізняються від розв'язків із табл. 7.14, але їм відповідають ті самі чотири фахівці мультидисциплінарної команди: ерготерапевт 1, фізіотерапевт 2, психолог 1 та лікар ФРМ 2, які визначилися для розв'язування задачі (7.37)-(7.41) для вартостей $C_q = 1310$ та вище. Це пов'язано з тим, що ваги пріоритетів фізіотерапевта 1 та психолога 2 вибирались більшими в два рази, ніж у всіх інших фахівців, що зробило їх неконкурентними з фізіотерапевтом 2 та психологом 1.

Для всіх наведених у табл. 7.14 та 7.15 розв'язків задачі (7.37)-(7.41) досягнуті параметри стану пацієнта є меншими за необхідні кінцеві значення $M_1^T = 0.5, M_2^T = 1, M_3^T = 0.5$. Так, наприклад, для наведених у табл. 7.14 розв'язків задачі (7.37)-(7.41) максимальні значення параметрів стану пацієнта становлять $M_1 = 0.498328$ (реалізується для $C_q = 1325$), $M_2 = 0.926866$ та $M_3 = 0.460715$ (обидва реалізуються для $C_q = 1380$). Для наведених у табл. 7.15 розв'язків задачі (7.37)-(7.41) максимальні значення параметрів стану пацієнта реалізуються для $C_q = 1350$ та становлять $M_1 = 0.499220$, $M_2 = 0.798634$ та $M_3 = 0.476442$.

7.6 Висновки до розділу

У розділі розроблено математичні моделі для задач організації реабілітаційного процесу та задач виявлення зв'язків між фізичними та психологічними показниками здоров'я. Наведено алгоритми їх розв'язання на основі методів негладкої та дискретної оптимізації.

Підрозділ 7.1 присвячений побудові математичного апарата для прогнозування психологічних висновків на основі кардіологічних даних. Для цього використовується лінійна регресійна модель та метод еліпсоїдів для визначення її параметрів з критерієм на основі методу найменших модулів (МНМ), процедура відбору ознак та метрика для оцінки узгодженості масиву даних.

У підрозділі 7.2 досліджено задачу лінійного програмування, кількість обмежень якої значно перевищує кількість змінних. За деяких обмежень на дані задачі показано, що задача еквівалентна максимізації увігнутої негладкої функції штрафу за невід’ємних обмежень з параметром штрафу, який можна легко визначити. Крім того, після перетворення останньої програми в задачу безумовної максимізації запропоновано використовувати суперградієнтні алгоритми з перетворенням простору. За допомогою випадково згенерованих тестових задач із дуже великою кількістю обмежень продемонстровано життєздатність та ефективність цього підходу.

У цьому ж підрозділі описано розроблену octave-програму `ralmpr` (r-algorithm for least moduli to the power of p with regularization), яка призначена для знаходження параметрів лінійної регресії за критерієм найменших модулів в степені p_1 ($1 \leq p_1 \leq 2$) з регуляризацією за формулою $\lambda \sum_{i=1}^n |x_i|^{p_2}$, де $\lambda \geq 0$ та $1 \leq p_2 \leq 2$. Розроблена програма дозволяє налаштовувати моделі лінійної регресії на роботу за правилами *ridge*-регресії ($p_1 = p_2 = 2$) та *lasso*-регресії ($p_1 = 2, p_2 = 1$). Окрім цього вона надає ряд додаткових можливостей, які забезпечуються використанням інших значень параметрів $p_1, p_2 \in [1, 2]$.

У підрозділі 7.3 узагальнено досвід використання методу глобального рівноважного пошуку (ГРП) для розв’язання на ЕОМ різних класів задач булевого програмування, що мають численні практичні застосування, у послідовному і паралельному режимах. Значну увагу приділено дослідженню ефективності алгоритмів та розпаралелюванню процесу оптимізації за допомогою об’єднань (портфелів і команд) алгоритмів ГРП, які проведені як у режимі реального часу, так із використанням багатопроцесорного обчислювального комплексу СКІТ-4 Інституту кібернетики.

У підрозділі 7.4 розглядається задача коригування коефіцієнтів в матриці попарних порівнянь для елементів методу аналізу ієрархій, де критерієм є мінімізація індексу узгодженості коефіцієнтів (максимального власного числа обе-

рнено-симетричної матриці) при обмеженнях на відхилення від заданих пріоритетів елементів. Розглянуто приклад застосування оптимізаційної задачі для формування компонентів мультимедійного психомоделюючого середовища для підвищення ефективності реабілітації пацієнтів.

У підрозділі 7.5 побудовано дві сім'ї оптимізаційних моделей для знаходження оптимальних за вартістю та зваженістю реабілітаційних програм пацієнта. Перша дає змогу вибирати кількості втручань для фахівців мультидисциплінарної команди, а друга формує мультидисциплінарну команду для виконання реабілітаційної програми. Наведено розрахунки для модельного прикладу, де реабілітаційна програма пацієнта визначається чотирма фахівцями мультидисциплінарної команди та за трьома кодами МКФ.

Список використаної літератури розділу 7

1. Стецюк П. І., Будник М. М., Сенько І. О., Стовба В. О., Чайковський І. А. Використання методу еліпсоїдів для вивчення зв'язків у медичних даних. *Cybernetics and Computer Technologies*. 2023. 3. С. 23-43.
2. Stetsyuk P., Fischer A., Khomiak O. An exact non-smooth penalty approach for a special class of linear programs. *5th International Conference on Problems of Cybernetics and Informatics (PCI 2023)*. Abstracts / K. R. Aida-zade (ed.). Baku, Azerbaijan.
3. Стецюк П. І., Вакуленко Д. В., Стецюк М. Г. r -Алгоритм для навчання моделей лінійної регресії. Питання прикладної математики і математичного моделювання. Д : Ліра, 2023. 23.
4. Сергієнко І. В., Шило В. П., Рощин В. О., Шило П. В. Застосування методу глобального рівноважного пошуку для розв'язання задач булевого програмування. *Cybernetics and Computer Technologies*. 2023. 2. С. 11-22.
5. Сергієнко І. В., Шило В. П., Рощин В. О. Об'єднання алгоритмів для розв'язання дискретних оптимізаційних задач. *Кібернетика та системний аналіз*. 2023. 59 (5). С. 78-88.
6. Стецюк П. І., Вакуленко Д. В., Ляшко В. І. Оптимізаційні задачі для оцінок відносної важливості елементів в методі аналізу ієрархій. *Наукові*

записки НаУКМА. Комп'ютерні науки. 2023. 6.

7. Вакуленко Д.В., Палагін О.В., Сергієнко І.В., Стецюк П.І. Алгоритмізація та оптимізаційні моделі пацієнтоцентричних реабілітаційних програм. *Кибернетика та системний аналіз*. 2024. 60 (5). С. 62-81.

8. Чайковський І., Прімін М., Казмірчук А. Розроблення та впровадження в медичну практику нових інформаційних технологій і метрик для аналізу малих змін в електромагнітному полі серця людини. *Вісник НАН України*. 2021. 2. С. 33-43.

9. Chaikovsky I. Electrocardiogram scoring beyond the routine analysis: subtle changes matters. *Expert Review of Medical Devices*. 2020. 17 (5). P. 379-382.

10. Fischer A., Khomyak O., Stetsyuk P. The ellipsoid method and computational aspects. *Commun. Optim. Theory*. 2023. 21. P. 1-14.

11. Snedecor G. W., Cochran W. G. Statistical Methods. 8th ed. Iowa State University Press, 1989.

12. Грабовецький Б. Є. Економічне прогнозування і планування : навчальний посібник. Вінниця : ВДТУ, 2000. 163 с.

13. GLPK (GNU Linear Programming Kit). GNU. URL: <http://www.gnu.org/software/glpk/glpk.html>.

14. Шило В. П. Метод глобального рівновесного пошуку. *Кибернетика и систем. анализ*. 1999. 1. С. 74-81.

15. Сергиенко И. В. Математические модели и методы решения задач дискретной оптимизации. К. : Наук. думка, 1988. 471 с.

16. Kirkpatrick S., Gelatti C. D., Vecchi M. P. Optimization by simulated annealing. *Science*. 1983. 220. P. 671-680. DOI: 10.1126/science.220.4598.671.

17. Aarts E., Korst J. Simulated annealing and Boltzmann machines: a stochastic approach to combinatorial optimization and neural computing. New York : J. Wiley and Sons, 1989. 284 p.

18. Сергиенко И. В., Шило В. П. Задачи дискретной оптимизации: проблемы, методы решения, исследования. К. : Наук. думка, 2003. 264 с.

19. Сергієнко І. В., Шило В. П., Рощин В. О. Дискретна оптимізація.

- Алгоритми та їхнє ефективне використання. Київ : Наукова думка, 2020. 144 с.
20. Papadimitriou C., Steiglitz K. Combinatorial Optimization: Algorithms and Complexity. New York : Dover Publications, 1998. 528 p.
 21. Glover F., Laguna M. Tabu search. Boston : Kluwer Academic Publishers, 1997. 382 p. DOI: 10.1007/978-1-4615-6089-0.
 22. Рощин В. О., Боярчук Д. О., Ляшко В. І., Шило П. В. Алгоритм глобального рівноважного пошуку розв'язання задачі про покриття. *Наукові записки НаУКМА. Комп'ютерні науки*. 2014. 163. С. 25-32. URL: <https://ekmair.ukma.edu.ua/handle/123456789/3402>.
 23. Шило В. П., Шило О. В. Решение задачи булева квадратичного программирования без ограничений методом глобального равновесного поиска. *Кибернетика и системный анализ*. 2011. 47 (6). С. 68-78. DOI: 10.1007/s10559-011-9368-5.
 24. Alidaee B., Kochenberger G., Ahmadian A. 0-1 quadratic programming approach for the optimal solution of two scheduling problems. *International J. of Systems Science*. 1994. 25. P. 401-408. DOI: 10.1080/00207729408928968.
 25. Gallo G., Hammer P. L., Simeone B. Quadratic knapsack problems. *Math. Programming*. 1980. 12. P. 132-149. DOI: 10.1007/BFb0120892.
 26. Pardalos P. M., Xue J. The maximum clique problem. *J. of Global Optimiz.* 1994. 4. P. 301-328. DOI: 10.1007/BF01098364.
 27. Palubeckis G. Iterated tabu search for the unconstrained binary quadratic optimization problem. *Informatica*. 2006. 17 (2). P. 279-296. DOI: 10.15388/Informatica.2006.138.
 28. Lu Z., Glover F., Hao J.-K. A hybrid metaheuristic approach to solving the UBQP problem. *Eur. J. Oper. Res.* 2010. 207 (3). P. 1254-1262. DOI: 10.1016/j.ejor.2010.06.039.
 29. Barahona F., Grotschel M., Junger M., Reinelt G. An application of combinatorial optimization to statistical physics and circuit layout design. *Oper. Res.* 1988. 36. P. 493-513. DOI: 10.1287/opre.36.3.493.
 30. Chang K. C., Du D. H.-C. Efficient algorithms for layer assignment

problem. *IEEE Trans. on Computer – Aided Design of Integrated Circuits and Systems*. 1987. 6 (1). P. 67-78. DOI: 10.1109/TCAD.1987.1270247.

31. Poljak S., Tuza Z. Maximum cuts and large bipartite subgraphs. *DIMACS Series in Discrete Mathematics and Theoretical Computer Science*. 1995. 20. P. 181-244. DOI: 10.1090/dimacs%2F020%2F04.

32. Prokopyev O., Shylo O., Shylo V. Solving weighted MAX-SAT via global equilibrium search. *Oper. Res. Lett.* 2008. 36 (4). P. 434-438. DOI: 10.1016/j.orl.2007.11.007.

33. Шило В. П., Шило О. В. Решение задачи о максимальном разрезе графа методом глобального равновесного поиска. *Кибернетика и системный анализ*. 2010. 46 (5). С. 68-79. DOI: 10.1007/s10559-010-9256-4.

34. Шило В. П., Шило О. В., Рощин В. А. Метод глобального равновесного поиска решения задачи о максимальном взвешенном разрезе графа. *Кибернетика и системный анализ*. 2012. 48 (4). С. 101-105. DOI: 10.1007/s10559-012-9435-6.

35. Shylo V. P., Shylo O. V. Path relinking scheme for the max-cut problem within global equilibrium search. *International J. of Swarm Intelligence Res.* 2011. 2 (2). P. 42-51. DOI: 10.4018/jsir.2011040103.

36. Glover F., Laguna M., Marti R. Fundamentals of scatter search and path relinking. *Control and Cybernetics*. 2000. 39. P. 653-684.

37. Helmberg C., Rendl F. A spectral bundle method for semidefinite programming. *SIAM J. on Optimization*. 2000. 10. P. 673-696. DOI: 10.1137/S1052623497328987.

38. Burer S., Monteiro R. D. C., Zhang Y. Rank-two relaxation heuristics for MAX-CUT and other binary quadratic programs. *SIAM J. on Optimization*. 2002. 12. P. 503-521. DOI: 10.1137/S1052623400382467.

39. Шило В. П., Рощин В. А., Шило П. В. Построение портфеля алгоритмов для распараллеливания процесса решения задачи о максимальном взвешенном разрезе графа. *Компьютерная математика*. Киев : Ин-т кибернетики им. В.М. Глушкова НАН Украины, 2014. 2. С. 163-170.

40. Шило В. П., Рощин В. О., Шило П. В. Паралельні алгоритми розв'язання задач булевого квадратичного програмування. *Компьютерная математика*. Киев : Ин-т кибернетики им. В. М. Глушкова НАН Украины, 2015. 2. С. 12-20. URL: <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/168376>.
41. Shylo V. P., Glover F., Sergienko I. V. Teams of global equilibrium search algorithms for solving the weighted maximum cut problem in parallel. *Cybernetics and Systems Analysis*. 2015. 51 (1). P. 20-29. DOI: 10.1007/s10559-015-9692-2.
42. Shylo V. P., Shylo O. V. Algorithm Portfolios and Teams in Parallel Optimization. *Optimization Methods and Applications*. York : Springer, 2017. 130. P. 481-493. DOI: 10.1007/978-3-319-68640-0_23.
43. Benlic U., Hao J.-K. Breakout local search for the max-cut problem. *J. Engineering Applications of Artificial Intelligence*. 2013. 26 (3). P. 1162-1173. DOI: 10.1016/j.engappai.2012.09.001.
44. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. М. : Радио и связь, 1993. 278 с.
45. Вакуленко Д. В. Системно-аналітичне обґрунтування застосування мультимедійного середовища для профілактики та реабілітації різних захворювань. *Медична інформатика та інженерія*. 2015. 1. С. 89-96.
46. Gurobi Optimization, Inc., Gurobi Optimizer Reference Manual, 2014. <http://www.gurobi.com/> (accessed: 01.06.2024).
47. Fourer R., Gay D., Kernighan B. AMPL, A Modeling Language for Mathematical Programming. Belmont: Duxbury Press, 2003. 517 p.
48. 47. NEOS Solver. URL: <https://neos-server.org/> (accessed: 01.06.2024).

8 РОЗРОБЛЕННЯ МЕТОДИЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ З ТЕЛЕРЕАБІЛІТАЦІЇ ХВОРИХ НА РМЗ

Онкопатологія є однією з основних причин зростання захворюваності та смертності в усьому світі. За даними ВООЗ щодня близько 450 людей дізнаються, що у них виявлено злоякісну пухлину [1].

РМЗ займає перше місце серед онкологічних захворювань у жінок, складаючи 31,2%, і має найбільше смертельних випадків [2]. Хворіють на рак грудей не тільки жінки, а й чоловіки. За даними Національного канцер-реєстру у 2022 році діагноз РМЗ встановлено: у 14170 жінок і 113 чоловіків, померли 5823 людини (5774 жінки і 49 чоловіків). Щотижня від РМЗ помирає близько 110 українців [3].

Сучасне лікування РМЗ засновано на використанні комплексного впливу, який поєднує променеву терапію, хіміотерапію, гормонотерапію, імунотерапію, хірургічні методи втручання, що в сукупності призводить до розвитку постмастектомічного синдрому. Надання допомоги пацієнтам, хворим на рак молочної залози, зорієнтоване переважно на лікування основного захворювання та постійне спостереження для виявлення рецидиву. Такий підхід не приділяє достатньо уваги для надання фізичного та функціонального благополуччя, адже хірургічне та променеве лікування призводить до значних фізичних та функціональних обмежень, зокрема болю, втоми, дисфункції верхніх кінцівок, лімфостазу, слабкості, невропатії, збільшенню ваги, остеопорозу. Наукові дослідження доводять необхідність постійного моніторингу цих порушень, саме для вчасного подолання негативних функціональних розладів та поліпшення якості життя на всіх етапах реабілітації.

Актуальні питання, що виникають сьогодні: епідеміологія злоякісних захворювань, поширеність, раннє їх виявлення, сучасна діагностика, принципи хірургічного лікування і променевої терапії, оцінка функціонального стану та потенціалу пацієнта, складання реабілітаційного плану, специфіка реабілітаційних програм для різних локалізацій злоякісних захворювань, лікування у військовий час!

Реабілітація онкохворих сьогодні є викликом для фахівців фізичної та реабілітаційної медицини (ФРМ). ФРМ включає медичні, психосоціальні та професійні заходи, що надаються особам, які пережили певний тип функціональних порушень, вимагає здатності від реабілітологів бути в змозі оцінити момент переходу від реабілітаційних програм до програм паліативної допомоги. Активність пацієнтів може знижуватись як на онкологічний процес, так і на онкологічне лікування (нерухомість, когнітивні розлади тощо). Тому в цьому аспекті дуже важливо, яка частка онкохворих України готова до активної реабілітації?

Третина пацієнтів, які пройшли хірургічне лікування РМЗ, відчуває потребу у фізичній реабілітації, інша третина – у психологічній. Незадоволеність потреб найчастіше знаходить своє відображення в психологічній, сексуальній та фінансовій сферах, а також у недостатній реабілітаційній допомозі. Зважаючи на це, онкологічна допомога повинна постійно розширювати свій вплив за рахунок систематичного оцінювання потреб пацієнтів та їх інтеграції в реабілітаційний процес.

На сьогодні після комплексного лікування РМЗ актуальним є застосування реабілітаційних втручань з метою відновлення функції дихальної системи, амплітуди рухів верхньої кінцівки з боку оперативного втручання, лімфостазу, корекції вертеброгенних порушень, гормонального фону і психоемоційного стану.

З метою оптимізації лікувально-реабілітаційного процесу хворих з постмастектомічним синдромом доцільно організовувати доліковування і реабілітацію пацієнтів способом «реабілітація вдома», з використанням сучасних телереабілітаційних технологій, що дозволяє знизити кількість ліжко-днів у стаціонарі, економічні витрати та значно поліпшити психоемоційні показники.

В останні роки перспективним напрямком є надання реабілітаційної допомоги із застосуванням телереабілітації [4].

Телереабілітація повинна розглядатися як процес, що містить два основні моменти: 1) реабілітація на індивідуальному рівні, що передбачає діагностику і корекцію власних настанов пацієнта, та 2) реабілітація на соціальному рівні, яка

полягає в створенні сприятливих умов для успішної соціальної адаптації пацієнта і пов'язана з корекцією негативних настанов відносно пацієнта з боку суспільства.

Телереабілітація може бути наступним етапом для пацієнтів, яких виписують із стаціонарної реабілітації, щоб продовжити фізичну терапію та сприяти подальшому одужанню. Оцінювання та реабілітаційні втручання можуть здійснюватися як в реальному часі, так і згідно заздалегідь записаних індивідуальних програм. Важливо, щоб була впроваджена можливість успішно використовувати таку форму, враховуючи потреби в реабілітації та комфорт з використанням технологій персоналізованої медицини.

Загальні вимоги до методичного забезпечення для телереабілітації онкохворих на основі аналізу сучасного стану наведено в Розділі 1. Нормативно-правові засади надання телереабілітаційної допомоги та вимоги до формування сучасних телереабілітаційних систем детально розглянуто в п. 1.2. В п. 1.3 проведено аналіз сучасних світових тенденцій в телереабілітації онкологічних хворих. Медико-технічні вимоги до діагностичних і відновлювальних методів та засобів телереабілітації сформульовано в п.1.4 на основі використання МКФ виконано в п. 1.4.

Також раніше в п. 1.5 уточнено вимоги до методів та засобів телереабілітації для пацієнтів із РМЗ та наведено існуючі методики контролю в телереабілітації онкохворих. Далі, в п. 1.6 розроблено загальну методику телереабілітації о та описано реабілітаційні втручання в телереабілітаційнкохворих. В даному розділі представлені результати розробки методичного забезпечення для телереабілітації стосовно конкретної патології – РМЗ.

8.1 Постмастектомічний синдром та клінічні втручання

8.1.1 Клінічні прояви та перебіг ПМС

На обліку в онкологічних закладах 2022 року зареєстровано 14332 жінок, хворих на РМЗ, показники смертності серед них у віковій групі 45-49 років становлять 28,7; у 50-54 років – 40,9; у 55-59 років – 52,5; у 60-64 роки – 69,9; у 65-69 років – 84,9; у 70-74 роки – 74,8 на 100 тис. населення [2].

Вибір методу лікування РМЗ на сучасному етапі визначається стадією пухлинного процесу, клінічною формою, віком і загальним станом хворих, гістологічною структурою пухлини (ступенем злоякісності), рівнем рецепторів стероїдних гормонів, імуногістохімічними показниками тощо [5]. Лікування хворих на РМЗ засновано на використанні сучасних методів: хіміотерапії, променевої терапії із застосуванням різних режимів опромінення, гормонотерапії, імунотерапії, проте вирішальним на сьогодні залишається хірургічне втручання [6].

Обсяг застосованого оперативного втручання коливається від органозбережених операцій до повного видалення молочної залози та її реконструкції [7]. Хірургічне втручання призводить до низки післяопераційних ускладнень, оскільки, окрім видалення молочної залози, у зону оперативного втручання потрапляють лімфатичні вузли, нерви і нервові стовбури, формуються грубі післяопераційні рубці. Виникнення таких ускладнень пов'язано не тільки з характером операції і її обсягом, але й із застосування променевої терапії, яка є невід'ємним компонентом комбінованого лікування РМЗ, а також рецидивів і метастазів пухлини [8].

Сучасна променева терапія з використанням високоенергетичних джерел випромінювання призводить, поряд зі збільшенням кількості клінічних одужань, до зростання частоти променевих реакцій та ускладнень. Результатами променевого впливу є не тільки пряме пошкодження пухлинних елементів, але й незмінених тканинних структур [9].

Застосування променевої терапії на ділянці грудної клітки знижує адаптаційні можливості серцево-судинної системи, що підтверджується достовірним наростанням тахікардії і зниженням ВСР [10], а також чинить негативний

вплив на діастолічну та систолічну функцію лівого шлуночка. Внаслідок променевого, хірургічного, токсичного ушкодження тканин, а пізніше здавлення судин (лімфатичних, кровоносних) і нервів рубцями виникають порушення трофіки, іннервації, скорочувальної здатності м'язів грудної клітки, плечового пояса, верхньої кінцівки, контрактура плечового суглоба на боці операції, порушення постави [11].

У пацієнтів, які перенесли резекцію пахвових лімфатичних вузлів і опромінення, у підсумку розвивається лімфостаз, спостерігається розвиток патоморфозу м'яких тканин у вигляді прогресивного фіброзу та розвитку грубих рубцевих змін [12]. Відзначається ураження нервових стовбурів плечового сплетіння, церебро-васкулярні ускладнення, значні порушення крово- і лімфообігу, розвивається флебіт з подальшим посттромбофлебічним синдромом і вторинним лімфостазом [13]. Застосування сучасних методів комбінованого лікування РМЗ сприяє зниженню смертності жінок від цієї патології, однак стійкість функціональних порушень, що виникають унаслідок проведеного лікування, не дозволяє їм здійснювати повноцінне самообслуговування [14].

На сьогодні ця патологія залишається важливою проблемою не тільки для онкологів, оскільки проведене лікування призводить до виникнення постмастектомічного синдрому (ПМС), що поєднує в собі порушення органічного, функціонального та психічного характеру, а й потребує мультидисциплінарного підходу фахівців сфери реабілітації. ПМС – це комплекс функціональних і органічних порушень з боку верхньої кінцівки і прилеглих тканин, що виникають у різні терміни після проведеного лікування РМЗ [15].

Перебіг ПМС відрізняється різноманітністю клінічних симптомів (набряк м'яких тканин на стороні операції, обмеження амплітуди активних та пасивних рухів кінцівки в плечовому суглобі, зниження м'язової сили, порушення чутливості, вегетативно-трофічні розлади верхньої кінцівки) і форм: нейропатичної, набряклої, церебральної, змішаної. Установлено, що цереброваскулярні пору-

шення є важливим клінічним компонентом ПМС та виникають унаслідок гіпертонусу переднього сходового м'яза, що призводить до порушення кровотоку в системі хребетної артерії [16].

Неврологічні прояви ПМС проявляються у вигляді синдромів Нафцигера, Райта-Мендловича та Фолконера-Уедла. Клінічно синдром Нафцигера проявляється парестезіями і гіпестезіями в ульнарній зоні передпліччя і кисті, болями в шії, надпліччі, ліктьовій поверхні передпліччя і кисті; Райта-Мендловича – болями в ділянці грудних м'язів, що іррадіують у плече, передпліччя і кисть, гіпестезією і акропарестезією; Фолконера-Уедла – парестезіями і болями в підключичній ділянці та плечі, що посилюються при відведенні і зовнішній ротації плеча.

Виникнення больового синдрому в жінок з ПМС може бути зумовлено різними причинами, зокрема плексопатіями плечового сплетення, що розвиваються в результаті впливу іонізуючого випромінювання; периферичними невропатіями, що пов'язані з хірургічною травматизацією нервів під час виконання мастектомії чи безпосередньо виниклим лімфостазом верхньої кінцівки; токсичними полінейропатіями, що спричинені побічною дією хіміотерапії.

Ранні ознаки ПМС виникають одразу після хірургічного лікування РМЗ і мають посттравматичний характер, до них належать серома, кровотеча, інфікування рани, постпроменеві епідерміти і виразки, тривала лихоманка, фантомні болі, астеничний стан, погіршення тканинної регенерації, розходження швів, краєвий некроз шкірних клаптів, гематоми, затяжна лімфорея з подальшим розвитком раннього постмастектомічного набряку і бешихоподібне запалення. Ці ускладнення продовжують тривалість післяопераційного періоду, віддаляють терміни проведення інших методів протипухлинної терапії і реабілітації хворих.

Лімфостаз є хронічним прогресувальним станом, який може мати серйозні несприятливі наслідки для якості життя жінок і є одним із найскладніших довготермінових ускладнень лікування РМЗ. Реабілітаційні втручання вважаються основою для лікування лімфостазу, а фізична терапія є складовою части-

ною такої реабілітації. При відсутності належного лікування лімфостаз провокує виникнення вторинних ускладнень, таких як целюліт, лімфангіт, паховий тромбоз вен, важкі функціональні порушення верхньої кінцівки та навіть лімфангіосаркома. Клінічно лімфостаз проявляється збільшенням обсягу кінцівки, появою і наростанням почуття тяжкості, малорухливості в дрібних, а потім і у великих суглобах, щозначно погіршує якість життя.

При розвитку ПМС виникає захисна міофіксація плечо-лопаткової ділянки та здавлення судинно-нервового пучка в ділянці верхньої апертури грудної клітки. Після радикальної операції відбувається зростання частоти клінічних синдромів: синдром надмірного відведення у 76 %; реберно-ключичний синдром – у 37,5 %; скаленуссиндром – у 32 %. Упродовж 12 місяців після операції у 99 % жінок незмінно формується, а потім прогресує синдром переднього сходового м'яза, що забезпечує стабільну компресію судинно-нервового пучка верхньої кінцівки. У віддаленому періоді ураження нервових стовбурів плечового сплетення виникає в результаті безпосереднього променевого впливу і здавлення рубцевою тканиною, що проявляється больовим синдромом, порушенням функції м'язів плечового поясу і верхньої кінцівки, плекситом і призводить до зниження обсягу активних рухів і падіння ефективності м'язового судинного насосу.

Порушення постави, які виникають після хірургічного лікування, не однотипні та залежать переважно від характеру й вираженості неврологічних порушень і пов'язаних з ними функціональних і органічних порушень з боку м'язів грудної клітки, плечового поясу і верхньої кінцівки. При вираженому лімфостазі верхньої кінцівки, як правило, виникає асиметрія постави у вигляді опущення надпліччя на стороні набряку і викривлення грудного відділу хребта.

У 96 % жінок після радикального лікування РМЗ з'являються біомеханічні та міотонічні порушення у вигляді функціонального блокування між хребцевих суглобів шийного та грудного відділів хребта, спазм переднього сходового

вого та верхньої частини трапецієподібного м'язів, а також коліотичні викривлення хребта. У більшості хворих згадані розлади формувалися через 3-5 років після операції.

Мінімальний час відновлення амплітуди руху після радикальної мастектомії за умови раннього початку реабілітації становить 105 днів, після квадрантектомії – 75 днів. Наявність ПМС призводить до певних труднощів у виконанні як побутової діяльності, так і професійних обов'язків [16]. Незважаючи на наявність цих проблем, більшість жінок обмежують рухи верхньої кінцівки на оперованій стороні через необізнаність щодо можливих порушень чи обмеженої ефективності поточних заходів реабілітації для поліпшення функції верхньої кінцівки.

Застосування в лікуванні онкозахворювань хіміотерапії і радіотерапії негативно позначається на психоемоційному стані, роботі шлунково-кишкового тракту, що супроводжується блювотою, тривалою діареєю та зниженням обміну речовин, функціонуванні серцево-судинної системи (зниження артеріального тиску, синусова тахікардія, аритмія, болі у ділянці серця), що потребує розроблення диференційованих реабілітаційних втручань і дієтотерапії для зменшення ризику розвитку післяопераційних ускладнень. Таким чином, телереабілітація жінок даної нозології має дуже високий пріоритет, розроблення диференційованої фізичної реабілітації, спрямованої на запобігання та ліквідацію постмастектомічних ускладнень [17].

8.1.2 Телереабілітаційні втручання при РМЗ

Реабілітаційні втручання складаються з експертних мультидисциплінарних оцінок, які оцінюють через відповідні показники ефективності з використанням функціональних цільових підходів для визначення пріоритетів пацієнта. Існуючі специфічні реабілітаційні втручання у пацієнток після операції з приводу РМЗ узагальнені в Табл. 8.1 відповідно до дизайну дослідження з використанням ієрархії доказовості. Пріоритет надано високоякісним систематичним оглядам або мета-аналізам та рандомізованим контрольованим дослідженням.

Мультифакторна фізична терапія, а саме вправи на розтяг та активні вправи є ефективними для лікування післяопераційного болю та порушеного діапазону рухів у плечовому суглобі після специфічного лікування РМЗ. Найчастіше реабілітаційні програми включають наступні типи вправ: вправи для збільшення діапазону рухів суглобів верхніх кінцівок; вправи на розтягування м'язів плеча; силові вправи на верхні кінцівки. Більшість програм складається з 2-5 різних типів вправ.

На Рис. 8.1 наведено існуючий спектр консервативних втручань і показників клінічних результатів, що застосовуються у фізичній реабілітації пацієнтів з РМЗ, які перенесли або мали перенести мастектомію. Підтримка фізичної активності може запобігти деяким побічним реакціям, пов'язаним з специфічним лікуванням раку.

Таблиця 8.1 – Реабілітаційні втручання при раку молочної залози

Втручання	Позитивні ефекти	Рівень доказовості
Мультидисциплінарна реабілітація	Покращення короткострокової (до 12 місяців) непрацездатності (діапазон рухів у плечовому суглобі), активності (адаптація дорухів у плечовому суглобі), участі (психосоціальна адаптація) та якості життя	I
Терапевтичні вправи	Зниження рівня інвалідизації, покращання мобільності, підтримання амплітуди рухів, зменшення втоми та якості життя; відсутність впливу на частоту виникнення післяопераційної лімфедеми	I
Силові тренування	Покращення м'язової сили, мобільності та якості життя; збереження кісткової мінеральної щільності, покращення психологічних симптомів	I
Тренування на витривалість, аеробні тренування	Покращення аеробних показників, м'язової сили, втоми	I
Компресійне бинтування кінцівки	Зменшення об'єму лімфедеми	II
Ерготерапія, освітні програми	Покращення активностей повсякденного життя, зменшення впливу втоми, підвищення самооцінки	I

Реабілітаційні стратегії при лімфедемі складають комплексну протинабрякову терапію, яка зазвичай включає ручний лімфодренажний масаж (техніка масажу, яка стимулює скоротливість лімфатичних шляхів), догляд за шкірою, багатошарове бинтування кінцівки та фізичні вправи (помірне, повторюване скорочення м'язів). Зазвичай пацієнтка проходить 15-30 сесій протягом 4-6 тижнів. Після досягнення оптимального об'єму кінцівки пацієнтку можна перевести на самостійні заняття.

Необхідно проводити навчання та заохочувати жінок з лімфедемою до тривалого та постійного використання компресійної білизни. Компресійну білизну слід носити зранку до вечора і знімати перед сном. Пацієнтки повинні

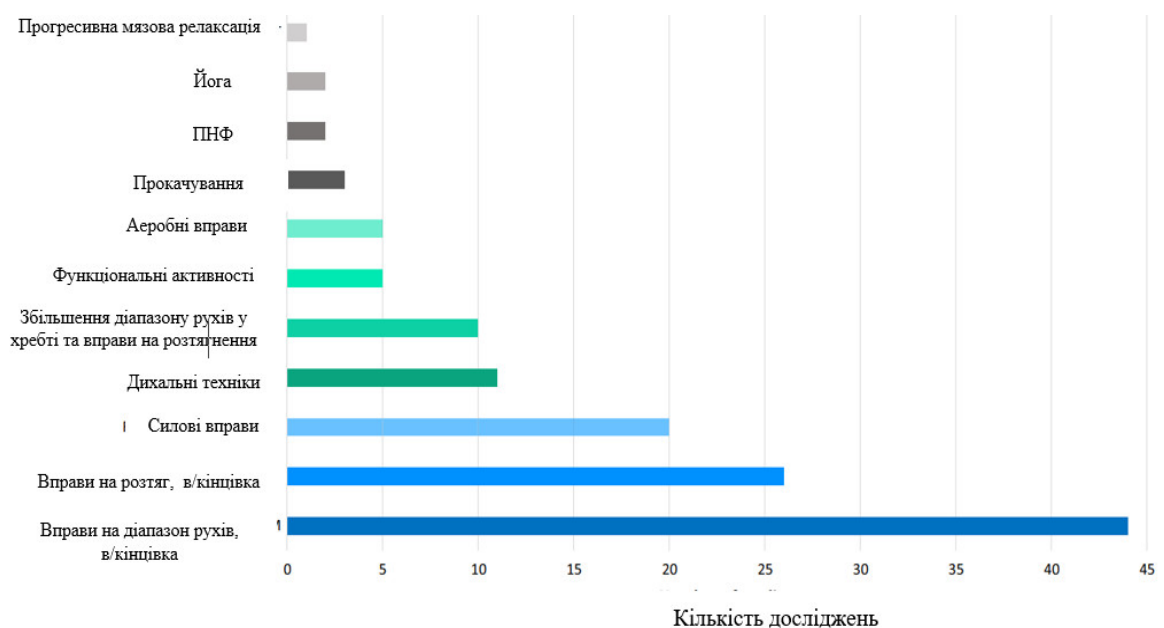


Рисунок 8.1 – Типи фізичних вправ

бути поінформовані про те, що лімфедема – це позитивний стан і що компресійну білизну необхідно носити щодня. Пацієнти можуть очікувати стабілізації та/або помірного покращення лімфедемі за умови постійного носіння компресійної білизни.

Пацієнткам з підвищеним індексом маси тіла (ІМТ) показані стратегії зниження та підтримання ваги. Хоч немає достовірного зв'язку між високим ІМТ та вторинною лімфедемою після лікування раку, слід підтримувати здорову масу тіла у людей, які пережили рак, через інші пов'язані з цим переваги для здоров'я.

Втома, пов'язана з РМЗ, є поширеним явищем серед тих, хто переніс операцію, особливо після променевої чи хіміотерапії. Відомо, що 28-91 % людей, які перенесли рак, відчувають втоми. Ерготерапевт повинен проаналізувати бажану діяльність особи після РМЗ, і модифікувати діяльність або середовище, щоб дозволити пацієнту брати в ній участь, незважаючи на різний рівень втоми. Також ерготерапевти можуть призначити індивідуальні методи енергозбереження для покращення участі в поточних життєвих ролях, залучення до роботи та покращити продуктивність діяльності.

8.2 Організаційні аспекти реалізації програм телереабілітації

8.2.1 Первинне та етапні реабілітаційні обмеження

Докази свідчать, що раннє післяопераційне реабілітаційне обмеження повинно відбутися протягом першого місяця після операції. Під час цього обмеження можна провести базові тести та вимірювання, а також продовжити навчання щодо фізичних вправ та повернення до активності. Якщо в цей час присутні функціональні обмеження, можна розпочати реабілітаційні втручання.

Оцінюються антропометричні показники. Вимірювання діастолічного та систолічного артеріального тиску; частоти пульсу; окружності талії, рук та стегон, ваги, ІМТ.

Оцінка болю обов'язково повинна проводитись у пацієнток, які перенесли лікування з приводу РМЗ. Такі шкали, як візуальна аналогова шкала та числова шкала оцінки болю оцінюють тільки інтенсивність болю, інші шкали є багатовимірними, наприклад, короткий опитувальник болю (Brief Pain Inventory, BPI, C. Cleeland et al., 1994), дає змогу оцінити вираженість болю та його вплив на основні аспекти якості життя пацієнтів – щоденну активність, здатність до пересування, можливість виконувати домашні справи, стосунки з іншими людьми, настрій, сон і здатність отримувати задоволення.

Вимірювання функціональної здатності. Кардіореспіраторна система. Тест 6-хвилинної ходьби використовується як непрямий показник аеробного фітнесу в осіб, які пережили НВР. Тест 6-хвилинної ходьби фіксує відстань, яку

людина може швидко пройти рівною твердою поверхнею за бхвилини, і використовується для оцінки субмаксимального рівня функціональної спроможності.

Оцінка рівня сприйняття навантаження є широко використовуваним і надійним індикатором для моніторингу та управління інтенсивності тренувань. Шкала дозволяє людям суб'єктивно оцінити свій рівень навантаження під час виконання вправ або тестування (Американський коледж спортивної медицини, 2010), розроблена Гуннаром Боргом, і називається шкала Борга.

Загальний показник м'язової сили верхньої або нижньої частини тіла. Максимальна кількість повторень (1-RM) для присідання або жиму ногами є золотим стандартом вимірювання загальної м'язової сили нижньої частини тіла, в той час як відповідним тестом для верхньої частини тіла зазвичай є жим від грудей або плечовий жим. Використання 1-RM тестування більш поширене в наукових дослідженнях, ніж у клінічній практиці. Нещодавно було доведено, що ця методика є безпечною для жінок, які пережили РМЗ. Оцінка 1-RM з використанням максимального опору при 6-8 повтореннях була використана з використанням прогностичних рівнянь в дослідженнях втручань у тих, хто вижив після РМЗ. Сила кистьового хвату, непрямий показник сили верхніх кінцівок, також використовується для вимірювання сили у жінок, які пережили РМЗ.

Тести на функціональну мобільність (тест «Встати та піти», дослідження швидкості ходи) також використовували у жінок, які пережили РМЗ, щоб дослідити як вплив функції на ризик падінь, так і вплив нейротоксичних хіміопрепаратів, що застосовуються при лікуванні РМЗ. Вимірювання діапазону рухів у плечі, за допомогою гоніометрії, є об'єктивним показником функції верхньої кінцівки, який широко використовується в реабілітації хворих на .рмз. Обмеження згинання та відведення плеча є найпоширенішою тенденцією, про яку повідомляють після операції з приводу РМЗ.

Шкала DASH призначена для вимірювання функції верхньої кінцівки досліджує такі симптоми, як біль, слабкість і оніміння, а також ступінь обмеження

працездатності, пов'язаної з роботою та рекреаційною діяльністю. Побічні ефекти, пов'язані з лікуванням, включають втому та біль, вимірюються за допомогою стандартизованих опитувальників (шкали болю та оцінювання втоми).

Об'єм кінцівок необхідно вимірювати, оскільки лімфедема, пов'язана з раком молочної залози, викликає занепокоєння у багатьох жінок з діагнозом «рак молочної залози». Вимірювання окружності за допомогою вимірювальної стрічки у визначених точках кінцівки з подальшим перерахунком в об'єм є найбільш поширеним методом обчислення лімфедери у звичайній клінічній практиці.

Первинним показником, який дозволяє оцінити втому, є короткий опитувальник для оцінки втоми (BriefFatigueInventory) (BFI), багатовимірна шкала самооцінки, яка визначає вплив втоми на якість життя. Цей опитувальник складається з двох частин та 9-ти запитань, які оцінюються за шкалою від 0 до 10 балів. Зокрема, перші три питання оцінюють поточний, звичайний та найгірший рівні втоми за останні 24 години, тоді як решта шість запитань стосуються впливу втоми на активність, настрій, пересування, роботу, стосунки та задоволення від життя. Загальний бал BFI обчислюється як середнє арифметичне 9-ти балів, де бали 1-3 вказують на легку втому, бали 4-6 помірну втому, а 7-10 – виражену втому. BFI є надійним інструментом, який дозволяє швидко оцінити рівень втоми у онкопацієнтів та виявити пацієнтів з вираженою втомою.

Інструменти, призначені для вимірювання якості життя після лікування РМЗ, наприклад EORTCQLQ-C30, ґрунтуються на суб'єктивній оцінці досвіду, симптоматики та функціональних обмежень пацієнтки. Незважаючи на складність побудови, добре розроблені інструменти з високими психометричними характеристиками є важливими для отримання повного уявлення про функціонування жінок, які пережили РМЗ [18].

8.2.2 Базові набори МКФ

Враховуючи численні потреби онкохворих під час та після лікування, зростаючу кількість тих, хто вижив після специфічного лікування раку, а також

доказову базу на користь реабілітації як засобу покращення загальної функціональної мобільності та якості життя, фахівці з реабілітації повинні використовувати інструменти, які достовірно оцінюють та вимірюють порушення, пов'язані з лікуванням РМЗ, і, крім того, повинні кількісно оцінити вплив реабілітаційних втручань на функцію, щоб продемонструвати їх цінність протягом усього життя.

Модель МКФ інтегрує діагноз і подальші порушення загальної функції в контексті обмежень, пов'язаних з навколишнім середовищем та особистісними факторами. Фактори середовища взаємодіють з усіма аспектами життя людей (фізичним, соціальним і психологічним), а особисті фактори (наприклад, впливи або властивості, такі як самоефективність) сприяють адаптації. Важливо розуміти терміни, які використовуються в цій моделі. Функції організму – це фізіологічні функції організму, а структури – це анатомічні частини, що беруть участь у процесі. Обмеження активності визначається як труднощі у виконанні завдання, тоді як обмеження участі – це проблеми, пов'язані з залучення до життєвої ситуації.

Функціонування – це загальний термін для функцій організму, структур тіла, діяльності та участі, що позначає позитивні аспекти взаємодії між людиною (зі станом здоров'я) та її контекстуальними факторами (факторами навколишнього середовища та особистісними факторами). Інвалідність, з іншого боку, висвітлює негативні аспекти тих самих складових.

При РМЗ найчастіше використовують короткий набір МКФ з відповідними кодами та категоріями. Компоненти МФК

1) Функції організму

b152 Функції емоцій

b280 Відчуття болю

b28014 Біль у верхній кінцівці

b130 Функції волі та прагнення

b180 Функції самоусвідомлення та відчуття часу

b1801 Образ тіла

b710 Функції рухливості суглобів
b7100 Рухливість одиничного суглоба
b7101 Рухливість декількох суглобів
b730 Функції м'язової сили
b7301 Функції м'язової сили однієї кінцівки
b735 Функції м'язового тону
b7351 Тонус м'язів однієї кінцівки
b840 Відчуття, пов'язані зі шкірою (відчуття, пов'язані зі шкірою, такі як свербіж, відчуття печіння і поколювання)
b455 Функції толерантності до фізичного навантаження
b435 Функції імунної системи
b4352 Функції лімфатичних судин

2) Активність та участь

d240 Подолання стресу та інших психологічних навантажень
d2401 Подолання стресу
d2402 Подолання критичних ситуацій
d430 Підняття і перенесення об'єктів
d4301 Перенесення за допомогою кистей рук
d4302 Перенесення в руках
d4308 Підняття і перенесення об'єктів, інше уточнене
d640 Ведення домашнього господарства
d6400 Прання і сушіння одягу та предметів одягу
d230 Виконання щоденної роботи
d770 Інтимні стосунки
d7702 Сексуальні стосунки
d510 Миття
d5100 Миття частин тіла
d5101 Миття всього тіла
d540 Одягання
d5400 Надягання одягу

d5401 Знімання одягу
d630 Приготування їжі
d6301 Приготування складних страв
d640 Виконання домашньої роботи
d6400 Прання і сушіння одягу та предметів одягу
d6402 Прибирання житлової площі

3) Фактори навколишнього середовища

e115 Вироби та технології для особистого використання у щоденному житті

e1151 Допоміжні засоби та технології для персонального повсякденного вжитку

e310 Родина та найближчі родичі

e320 Друзі

e3253 знайомі, однолітки, колеги, сусіди та члени спільноти

e355 Професійні медичні працівники

8.2.3 ІРП для надання телереабілітації

Досвід жінок, які пережили РМЗ, впливає на багато аспектів їхнього життя, починаючи з моменту встановлення діагнозу і до багатьох років потому. Одразу після операції, під час «ранньої фази», необхідно інформувати та орієнтувати пацієнтів на відновлення повсякденної життєдіяльності, а також забезпечити контроль та лікування порушень після операції. Реабілітаційне втручання повинно починатися незабаром після операції, незалежно від типу операції (квадрантектомія або мастектомія), і повинно бути спрямоване на відновлення обсягу рухів верхньої кінцівки на прооперованому боці, відновлення сили і контроль болю. На більш пізньому етапі важливо також розглянути питання відновлення правильної оцінки постави. Докази свідчать, що реабілітація є ефективним засобом профілактики та лікування багатьох фізичних побічних ефектів лікування РМЗ.

Індивідуальний реабілітаційний план (ІРП) розробляється та узгоджується мультидисциплінарною реабілітаційною командою після проведення реабілітаційного обстеження особи кожним членом команди та з урахуванням наявних порушень, обмежень повсякденного функціонування і потреб особи та затверджується на загальних зборах команди лікарем фізичної та реабілітаційної медицини. ІРП складається з урахуванням результатів реабілітаційного обстеження, реабілітаційного періоду, визначення реабілітаційного прогнозу та місця (місць) проведення реабілітаційних заходів.

ІРП складається з трьох розділів:

- 1) перший заповнюється, коли пацієнт перебуває в гострому періоді реабілітації (перед проведенням телереабілітаційних заходів);
- 2) другий – на післягострому (на етапі проведення телереабілітації);
- 3) на довготривалій реабілітації (на етапі проведення телереабілітації).

Кожний розділ ІРП може включати кілька циклів реабілітації. Кожний цикл триває до двох тижнів, після чого проводиться оцінка результатів і коригується план реабілітації. Загальна мета реабілітації іноді буває далекою і її важко виміряти, відчуті і повністю зрозуміти. Постановка невеликих цілей на цьому шляху може бути корисною, особливо під час телереабілітації, коли дуже важко виміряти прогрес.

ІРП має містити загальні мету та завдання реабілітації з визначенням орієнтовних термінів їх досягнення, переліку необхідних реабілітаційних заходів, кількісних потреб у фахівцях з реабілітації, потреб у реабілітаційному та іншому обладнанні, можливих потреб у продовженні надання реабілітаційної допомоги в іншому реабілітаційному закладі, відділенні, підрозділі відповідно до рівня функціональних обмежень, можливостей, побажань, очікувань, прагнень особи, яка потребує реабілітації.

Також велику користь може принести постановка цілей за методикою SMART (Specific, Measurable, Achievable, Realistic, Time-related – конкретні, ви-

мірювані, досяжні, реалістичні, пов'язані з часом). Цей підхід широко використовується для постановки цілей у розвитку бізнесу. «Поїсти самотійно за 2 тижні», «Зіграти Місячну сонату на фортепіано до квітня», «Посадити квіти без болю в спині на наступних вихідних» – все це приклади SMART-цілей.

Після затвердження ІРП кожен фахівець з реабілітації в рамках своїх професійних компетентностей за результатами реабілітаційного обстеження самотійно складає власну програму терапії, реалізує та оцінює її ефективність.

8.3 Програми телереабілітації пацієнтів

8.3.1 Особистісно-орієнтована програма телереабілітації на передопераційному етапі (пререабілітація)

Термін «пререабілітація» був введений для опису втручання з ціллю підтримки онкологічних хворих у період перед початком специфічного лікування (проведенням хірургічного втручання). Пререабілітація раку є різновидом попереднього лікування з метою покращення функціонального стану пацієнтів з діагнозом рак, але до початку лікування раку. Це цілком сучасна стратегія у континуумі лікування раку, з метою покращення здатності пацієнтів до отримання специфічного лікування, а також підвищення їх комплаєнсу та прихильності до всіх реабілітаційних втручань під час та після специфічного лікування.

Одне з визначень пререабілітації раку – «виявлення порушень та формування заходів, спрямованих на зміцнення та стабілізацію потенціалу тих систем організму, які підлягають найбільшому ризику до початку специфічного лікування». Також існує визначення, що пререабілітація це «систематичний процес покращення фізичного, психосоціального та харчового статусу хворих на рак в період між встановленням діагнозу та відновленням після лікування».

Пререабілітація раку відбувається протягом періоду обстеження та/або лікування до початку необхідного специфічного лікування раку. У цей проміжок часу, а саме після діагностики, може бути запропонований ІРП. Цей план може включати такі елементи, як фізичні вправи, правильне харчування та модифікацію дієти, психологічну стабілізацію та модифікацію способу життя, а

саме відмову від куріння та зменшення кількості вживання алкоголю. Після цих втручань онкологічні пацієнти можуть досягти кращого функціонального стану (покращити витривалість, м'язову силу, психічне здоров'я) і можуть витримати будь-які впливи під час та після операції, опромінення, хіміотерапії краще, ніж онкологічні пацієнти без пререабілітації раку, а отже з гіршим функціональним станом.

Існують два типові підходи до пререабілітації, а саме унімодальна та мультимодальна пререабілітація. Регулярні фізичні навантаження, такі як фізичні вправи, є частиною обох підходів у реабілітації і, як виявилось за останні 27 років, дуже важливі для лікування та реабілітації онкохворих. Заняття спортом можуть покращити функціональне здоров'я, що позитивно впливає на фізичну працездатність, психічне здоров'я та якість життя, а при деяких видах раку – і на виживання.

Найчастіше застосовують унімодальні схеми пререабілітації, які складаються лише з фізичних вправ, що демонструє ефективність зменшення післяопераційного стресу та ускладнень, тривалості перебування в стаціонарі та покращення клінічних результатів шляхом оптимізації серцево-легеневого резерву перед операцією. Зростає кількість наукових доказів щодо вивчення наслідків фізичних вправ при преабілітації раку. Щодо фізичних вправ, важливо зазначити, що майже кожен пацієнт має супутні захворювання та індивідуальні фізичні показники. Тому слід рекомендувати фізичні вправи на індивідуальній основі для задоволення цих специфічних потреб. Ретельний анамнез, клінічне обстеження, деякі лабораторні параметри, дані ЕКГ та ехокардіографії, тестування фізичної витривалості, спірометрія, а в деяких випадках рентгенологічні дані та сканування кісток є основою для планування індивідуальних програм фізичних вправ для пререабілітації.

Телереабілітаційні втручання включають в себе індивідуально підібрані домашні вправи, які починалися одразу після первинного обстеження і тривають до моменту оперативного втручання. До прикладу, *програма аеробні вправи 3-5 днів на тиждень по 30-40 хв на одне заняття, і силові вправи для*

верхньої частини тіла 2-3 дні на тиждень. Аеробні вправи зазвичай включають швидку ходьбу з інтенсивністю 4-6 балів за 10-бальною шкалою Борга. Силові тренування для тіла складаються з 2-3 підходів по 10-12 повторень на вправу, причому кожне заняття може включати до 8-ми вправ. Прогрес тренувань за кожним методом визначався за 10-бальною шкалою Борга і відбувався тоді, коли пацієнт міг виконати аеробну вправу з легким навантаженням (за шкалою Борга 0-3) або коли пацієнт може виконати 15 повторень будь-якої з силових вправ (за шкалою Борга 3-6).

Пацієнтка також має можливість отримати цінну інформацію про післяопераційні реабілітаційні вправи (вправи на розтяг та рухливість згідно післяопераційних протоколів без функціональних порушень), поради щодо повернення до активностей повсякденного життя під час і після лікування, а також обговорення факторів ризику несприятливих наслідків плану лікування.

A Prospective Surveillance Model for Physical Rehabilitation for Women with Breast Cancer

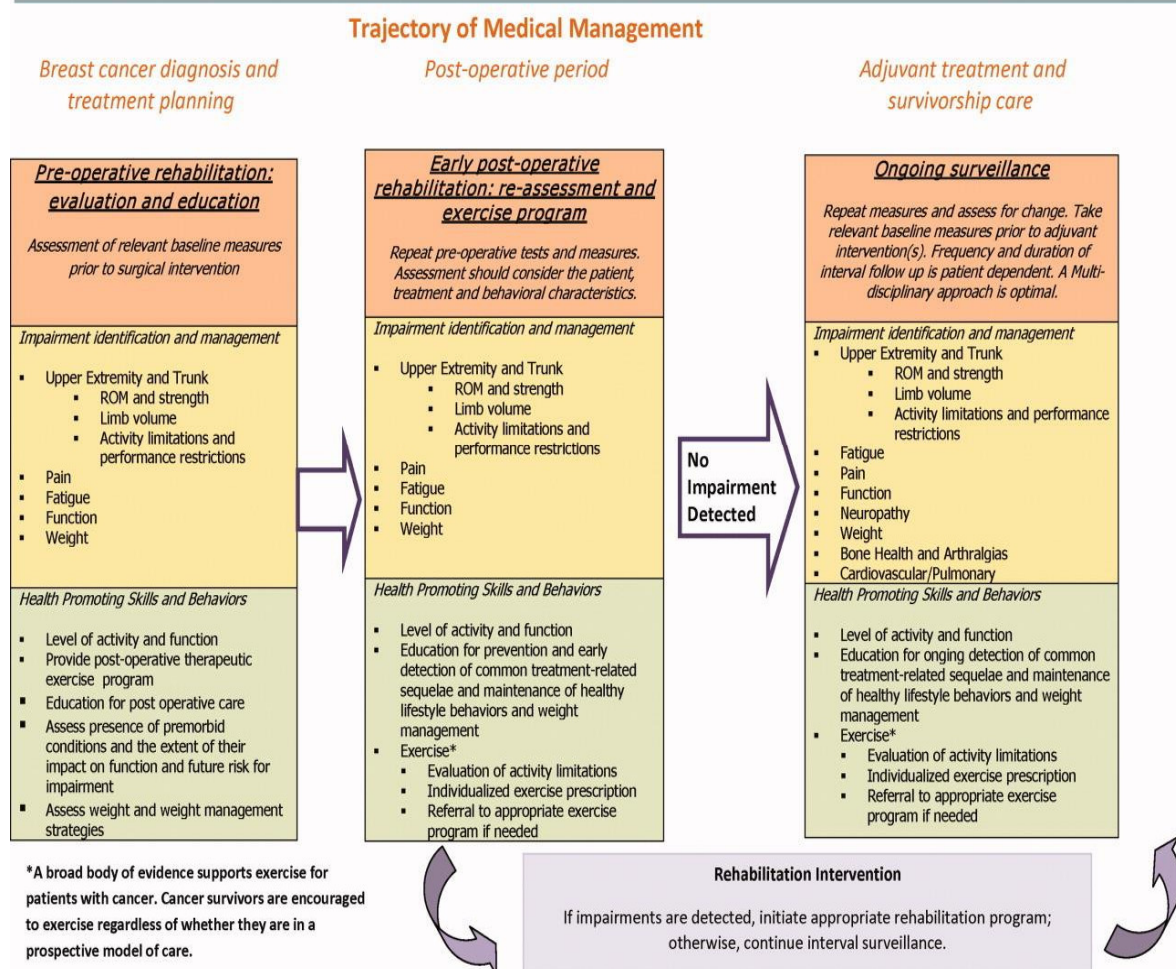


Рисунок 8.2 – Перспективна модель фізичної реабілітації при РМЗ

Так, наприклад, модель перспективного спостереження [19], описана Ніколь Стаут та її колегами, рекомендує передопераційне обстеження всіх пацієнтів з РМЗ з метою оцінки преморбідного рівня функціонування, попередніх фізичних обмежень, наявних звичок до занять спортом та інших супутніх захворювань, а також включення батареї тестів та заходів для встановлення вихідного рівня функціонування (див. рисунок 8.2).

Для жінок, які перенесли операцію з приводу РМЗ, пререабілітація може полегшити післяопераційне відновлення, вплинути на зміну поведінки щодо здоров'я в доопераційний і післяопераційний періоди, а також підвищити рівень фізичної активності та функціональну спроможність як до, так і після операції.

8.3.2. Індивідуальні програми в післягострому та довготривалому періодах телереабілітації

На сьогоднішній основним способом лікування РМЗ є хірургічна резекція, а найпоширенішим хірургічним варіантом є модифікована радикальна мастектомія. Однак після операції пахвовий лімфатичний рефлюкс і кровопостачання у кожної пацієнтки порушуються по-різному, також може бути порушена і функція верхньої кінцівки. Метою проведення заходів телереабілітації є покращення функції верхньої кінцівки та якості життя пацієнток після оперативного втручання.

На даному етапі необхідно розробити науково обґрунтовану програму телереабілітації для покращення відновлення функції верхньої кінцівки. Індивідуальні реабілітаційні вправи можуть бути розділені на три етапи: (I) рання стадія; (II) середня стадія; і (III) пізня стадія. Основні цілі втручань на різних етапах відрізняються. Програми телереабілітації розробляються для пацієнтів на II та III етапах післягострої реабілітації та у довготривалому періоді.

Звичайно, проведення раннього етапу реабілітації, направлене на поліпшення крово- і лімфообігу, зменшення місцевої ексудації та сприяння загоєнню ран. Ранні вправи можуть посилити післяопераційний біль у верхній кінцівці пацієнтки, однак, з точки зору довгострокових ефектів, після певного періоду регулярних вправ для верхньої кінцівки, такі вправи можуть полегшити довготривалий біль і зменшити набряк.

Практичні рекомендації при порушенні функціонування верхніх кінцівок, пов'язаних з РМЗ: Стандартні післяопераційні функціональні вправи, як правило, виконуються самими пацієнтами. Не існує єдиного стандарту для методів виконання вправ. Реабілітаційні вправи, які також називають післяопераційними функціональними вправами, відносяться до специфічних вправ для поліпшення кровообігу, регулювання функції кінцівок і, таким чином, сприяють ранньому відновленню після операції.

Активні вправи на розтягування можна починати з 1-го тижня після операції або після видалення дренажу і продовжувати протягом 6-8 тижнів або до

досягнення повного обсягу рухів в ураженій верхній кінцівці. Прогресивні вправи з опором, тобто силові, можна починати з легкої ваги (1-2 кг) через 4-6 тижнів після операції.

На післягострому етапі слід зосередитись на тренуванні м'язів плеча, розтягуванні тканин навколо рани, що допомагає запобігти зрощенню рубців і коригує рухи в плечовому суглобі. Онлайн-програма телереабілітації направлена на збільшення сили м'язів, рухливості суглобів і серцево-судинної здатності з метою поліпшення якості життя під наглядом і керівництвом профільного фахівця.

Заняття розподіляють на три частини. Перші 10 хв розминки присвячені вправам на рухливість суглобів. Основна частина складається з 40 хв силових вправ на опір (наприклад, присідання, випади вперед і назад, присідання, біцепс, трицепс тощо). Заключний 10-хв сегмент включає вправи на гнучкість для великих м'язових груп. Наприкінці заняття використовується шкала Борга і інтенсивність наступних занять планується на основі результатів оцінки. Жінок також слід проінструктувати щодо масажу рубцевих тканин.

Пацієнток також слід навчити ретельному догляду за руками – наприклад, дотримання належної гігієни та уникнення травм рук – для мінімізації ризиків інфікування та розвитку лімфедеми. Існують докази того, що $IMT > 30$ є фактором ризику розвитку лімфедеми. Хоч немає чіткого зв'язку між високим ІМТ та розвитком вторинної лімфедеми після лікування раку, слід заохочувати пацієнток, які перенесли рак, підтримувати здорову масу тіла через пов'язані з цим переваги для здоров'я. При розвитку лімфедеми верхніх кінцівок та/або молочної залози в програму телереабілітації включають комплексну протинабрякову фізіотерапію, яка є рекомендованим методом лікування лімфедеми [20].

Розробка комплексного, ефективного плану лікування болю включає навчання та залучення пацієнтки та її родини, а також міждисциплінарний коман-

дний підхід. Проведення стислих освітніх заходів та ведення щоденників контролю болю є корисними стратегіями, які покращують прихильність до лікування та зменшують інтенсивність болю.

Усім онкопацієнтам слід пропонувати навчальні матеріали про втоми та її природний перебіг. Освітні заходи (включаючи навчання, консультування, підтримку, завчасне інформування про патерни втоми, тренування навичок подолання та коучинг) «скоріше за все будуть ефективними» у підтримці позитивного подолання втоми у пацієнтів з втомою та у зниженні рівня втоми. Заняття фізичними вправами кілька разів на тиждень (включаючи ходьбу, їзду на велосипеді, вправи з опором або поєднання аеробних вправ і вправ з опором) можуть бути ефективними для зменшення втоми під час і після лікування раку.

Пацієнткам слід проводити навчання по технікам енергозбереження. Енергозбереження – це свідоме, сплановане управління особистими енергетичними ресурсами людини для запобігання їх виснаження. Метою енергозбереження є збалансування відпочинку та активності в періоди високої втоми, щоб можна було продовжувати займатися важливими справами та досягати цілей. Додаткова перерва на відпочинок – це одна зі стратегій енергозбереження. Інші стратегії включають розстановку пріоритетів, делегування повноважень, дотримання темпу і планування високоенергетичних видів діяльності на час піку енергії.

В подальшому рекомендується заохочувати пацієнтів займатися фізичною активністю помірної інтенсивності під час та після лікування, включаючи ходьбу, їзду на велосипеді, силові вправи або комбінацію аеробних і силових вправ протягом 30 хв більшість днів на тиждень.

8.3.3. Існуючі та перспективні шкали для оцінки реабілітаційного потенціалу та моніторингу наслідків реабілітаційних втручань

Фахівці, які займаються відновлювальним лікуванням, стикаються з необхідністю визначення реабілітаційного потенціалу пацієнта для його подальшої маршрутизації і прогнозу відновлення, а також поточного контролю ефек-

тивності реабілітаційних втручань. На підставі цієї оцінки будується план і програма реабілітації, з позначенням прогностичних термінів для досягнення тих чи інших завдань. Пацієнти з високим реабілітаційним потенціалом особливо потребують чіткої послідовної програми на всіх етапах реабілітації для реалізації наявних можливостей. У той самий час інша частина пацієнтів може бути швидше перенаправлена в заклади соціального захисту для навчання і адаптації до життя з наявними обмеженнями. Таким чином, оптимізується час знаходження пацієнта на певному етапі реабілітації.

Для оцінки реабілітаційного потенціалу існують чисельні шкали функціонального оцінювання. Найбільш повну базу таких шкал склали фахівці з Shirley Ryan Ability Lab (США) [21]. Ця база включає в себе кілька сотень шкал різної природи для оцінювання функції в усіх існуючих галузях реабілітології.

Проте, при аналізі цієї бази виявляється відсутність шкал, придатних для використання в домашніх умовах на основі об'єктивних даних, отриманих за допомогою портативних засобів функціональної діагностики.

В останні роки в Інституті кібернетики НАНУ розроблена інноваційна методика (Universal Scoring System) для шкалювання ЕКГ та варіабельності серцевого ритму (ВСР), які дають змогу оцінювати та моніторувати загальний реабілітаційний потенціал, що є важливим для реабілітації захворювань будь-якого генезу [22] (Чайковський І.А., Будник М.М., Старинська Г.А., 2016). Ця методика добре пристосована саме для телемедицинських застосувань [23].

Суть методики – комплексна оцінка серцевого м'язу, автономної нервової системи та психоемоційного стану на основі математичного аналізу ВСР та розширеного аналізу ЕКГ (включаючи малі зміни міокарду) у 1-му чи 6-ти відведеннях. Методика дає змогу, використовуючи серце, ніби дзеркало, через вегетативну регуляцію серцевого ритму, оцінити функціональний стан, іншими словами рівень активності функціональних систем організму, особливості життєдіяльності та стан працездатності цілісного організму.

Зокрема, методика є інструментом оцінки функціонального резерву та ефективності систем адаптації, особливо ресурсно-енергетичної та психоемоційної її компонент. Наукові засади, на які спираються методи оцінки стану психо-емоційної компоненти адаптації за даними ВСР, більш докладно розкриті в [24].

Запропонований метод шкалювання підходить саме для вирішення практичних задач. Цій меті слугує наочний інтерфейс програми, який побудований на основі «світлофорної» логіки, що робить інформацію легко доступною як для всіх членів реабілітаційної команди, так і для самого пацієнта. Запропонована технологія знаходить досить широке застосування в Україні та за кордоном для вирішення низки різноманітних завдань у різних розділах клінічної медицини, військової медицини тощо.

Зокрема, цей метод з успіхом використовувався для об'єктивного контролю процесу реабілітації військовослужбовців з посттравматичним стресовим розладом (ПТСР), постконтузійним синдромом, емоціональним вигоранням та іншими розладами, спричиненими специфічними умовами військової служби.

8.4 Висновки до розділу

Дотепер в Україні реабілітаційні послуги пацієнтам із злоякісними захворюваннями шляхом телереабілітації не надаються. Теоретичний аналіз міжнародного і вітчизняного досвіду з реабілітації у сфері охорони здоров'я свідчить про можливість розробки ефективного комплексу методично-технологічних засобів телереабілітації для пацієнтів із злоякісними новоутвореннями, зокрема РМЗ, на амбулаторному етапі надання реабілітаційної допомоги.

Він охоплює вирішення наступних задач: вивчення чинних нормативно-правових актів України, що регулюють надання телереабілітаційної допомоги; ознайомлення з рекомендаційними документами ВООЗ, стандартами, клінічними настановами та протоколами, якими керуються в онкологічній реабілітації; вибір, впровадження та інтеграція в онкологічну телереабілітацію підмножин тестів та шкал для оцінки різних компонентів МКФ з метою отримання максимально ефективного результату з мінімальними зусиллями; розробка та

підбір нових інформаційних онлайн технологій підтримки всіх процесів телереабілітації, заснованих на широкому цілеспрямованому застосуванні інформаційних технологій, зокрема штучного інтелекту; застосування математичних методів моделювання, оптимізації та прогнозування на всіх етапах життєвого циклу (маршрутизація, формування логічної структури доказових методів та технологій надання реабілітаційних послуг в онкологічній реабілітації, побудова науково обґрунтованої загальної моделі пацієнт-центричної комплексної телереабілітації в онкології, яка включає всі необхідні етапи, починаючи з реабілітаційного обстеження пацієнтів, формулювання реабілітаційних цілей, постановки реабілітаційного діагнозу на основі МКФ і закінчуючи формуванням персоніфікованого плану реабілітації з постійним моніторингом та оцінкою ефективності реабілітаційних втручань в режимі дистанційної взаємодії пацієнта та фахівців з реабілітації). Велике значення при цьому має модернізація додипломної та післядипломної освіти фахівців з реабілітації.

Проведені експертні оцінки в численних дослідженнях підтверджують доцільність впровадження телереабілітації в систему реабілітаційної допомоги онкохворим, зокрема пацієнткам з РМЗ. Завдяки інноваційним технологіям виникає можливість не тільки покращити та різноманітнити процес реабілітації, але й створити нові можливості та комфорт для пацієнтів.

У Додатках наведена корисна інформація та приклади опитувальників, вправ, тестів, та інша довідкова інформація для проведення телереабілітації хворих, що перенесли РМЗ. Так, у Додатку А наведено комплекс телереабілітаційних процедур, який включає фізичні вправи та бібліотеки відповідних відеоматеріалів. Додаток Б розглядає реабілітаційний діагноз та програму реабілітації хворих з лімфатичним набряком верхньої кінцівки після мастектомії. У Додатку В наведено раціон харчування хворого після перенесення хвороби COVID. Додаток Г присвячено детальному розгляду питання психологічної реабілітації хворих на РМЗ.

У подальшому доцільним є розробка комплексного підходу до проведення сучасних досліджень щодо впливу телереабілітаційних втручань на стан

та якість життя онкологічних пацієнтів, а також оцінки методів найкращого використання телемедичних технологій.

Список використаної літератури розділу 8

1. Аналітичний огляд: Онкоепідеміологічна ситуація та стан організаційно-онкологічної допомоги в Україні, 2021-2022 рр. UPL: http://www.ncru.inf.ua/publications/BULL_24/PDF/04-13-vstup.pdf.
2. Global Cancer Statistics 2022: the trends projection analysis BS Chhikara, K Parang – Chemical Biology Letters, 2023. UPL:<http://pubs.thesciencein.org/>.
3. Бюлетень Національного Канцер-реєстру України № 24. Київ, 2023. UPL: http://www.ncru.inf.ua/publications/BULL_24/.
4. Зуб В.О. Порівняльний аналіз якості життя пацієнтів з раком легень, простати, молочної залози та шлунку в Україні згідно опитувальника EORTC QLQ-C30. *Клінічна та профілактична медицина*. 2023.2 (24). DOI: [https://doi.org/10.31612/2616-4868.2\(24\).2023.07](https://doi.org/10.31612/2616-4868.2(24).2023.07).
5. Lloyd G.R., Oza S., Kozey-Keadle S. et al. Breast cancer survivors' beliefs and preferences regarding technology-supported sedentary behavior reduction interventions. *AIMS Public Health*. 2016.3 (3). P. 592-614. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5647888/pdf/publichealth-03-03-592.pdf>.
6. Silva E.H., Lawler S., Langbecker D. The effectiveness of mHealth for self-management in improving pain, psychological distress, fatigue, and sleep in cancer survivors: a systematic review. *Journal of Cancer Survivorship*. 2019.13. P. 97-107. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11764-018-0730-8>.
7. Galiano-Castillo N, Arroyo-Morales M. et al. Effect of an Internet-based telehealth system on functional capacity and cognition in breast cancer survivors: a secondary analysis of a randomized controlled trial. *Support Care Cancer*. 2017.25 (11). P. 3551-3559. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00520-017-3782-9>.
8. Garcia-Roca M.E., Rodriguez-Arrastia M. et al. Breast Cancer Patients' Experiences with Online Group-Based Physical Exercise in a COVID-19 Context: A Focus Group Study. *J PersMed*. 2022.12 (3). P. 356. DOI:

<https://doi.org/10.3390/jpm12030356>.

9. Mella-Abarca W., Barraza-Sánchez V., Ramírez-Parada K. Telerehabilitation for people with breast cancer through the COVID-19 pandemic in Chile. *Ecancer medical science*. 2020.5 (14). P. 1085. DOI: <https://doi.org/10.3332/ecancer.2020.1085>.

10. Loubani K., Schreuer N., Kizony R. Telerehabilitation for Managing Daily Participation among Breast Cancer Survivors during COVID-19: A Feasibility Study. *Journal of Clinical Medicine*. 2022.11 (4).P. 1022. DOI: <https://doi.org/10.3390/jcm11041022>.

11. Cattaneo A., Fragasso M., Magni M. et al. Assessing the Accuracy of the Azure Kinect for Telerehabilitation After Breast Cancer Surgery. *Studies in Health Technology and Informatics*. 2023. 301. P. 83-88. DOI: <https://doi.org/10.3233/SHTI230017>.

12. Siegel R.L., Miller K.D., Fuchs H.E. et al. Cancer statistics. *CA: A Cancer Journal for Clinicians*. 2021.71 (4). P. 359. DOI: <https://doi.org/10.3322/caac.21654>.

13. Breast Cancer Facts & Figures 2019-2020. UPL: <https://www.cancer.org/content/dam/cancer-org/research/cancer-facts-and-statistics/breast-cancer-facts-and-figures/breast-cancer-facts-and-figures-2019-2020.pdf> (дата звернення 03.07.2023).

14. Torres Lacomba M., Mayoral del Moral O. et al. Axillary web syndrome after axillary dissection in breast cancer: a prospective study. *Breast Cancer Res Treat*. 2009.117 (3). P. 625-630. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10549-009-0371-8>.

15. Keesing S, Rosenwax L, McNamara B. 2018. Identifying the contribution of occupational therapy in meeting the needs of women survivors of breast cancer. *British Journal of Occupational Therapy*. 81 (7). P. 402-412 DOI: <https://doi.org/10.1177/0308022618762080>.

16. Смоланка І. І., Ляшенко А. О., Лобода А. Д., Риспаєва Д. Е., Іванкова О. М., Досенко І. В., Смоланка І. І. (мол.), Сидорчук О. І. Особливості

постмастектомічного синдрому у хворих набряковими формами раку грудної залози. Лікарська справа, № 1-2, с. 30-35.

17. von Blanckenburg P, Seifart U et al. Quality of life in cancer rehabilitation: the role of life goal adjustment. *Psychooncology*. 2014.23 (10). P. 1149-1156. DOI: <https://doi.org/10.1002/pon.3538>.

18. Esplen M.J., Wong J., Warner E., Toner B. Restoring Body Image After Cancer (ReBIC): Results of a Randomized Controlled Trial. *J Clin Oncol*. 2018.36 (8). P. 749-756. DOI: <https://doi.org/10.1200/JCO.2017.74.8244>.

19. Maldonado E., Thalla N., Nepaul S., Wisotzky E. Outcome Measures in Cancer Rehabilitation: Pain, Function, and Symptom Assessment. *Front Pain Res (Lausanne)*. 2021.2:692237. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpain.2021.692237>.

20. Gilchrist L.S. et al. A Framework for Assessment in Oncology Rehabilitation. *Physical Therapy*. 2009.89 (3). P. 286-306. DOI: <https://doi.org/10.2522/ptj.20070309>.

21. Rehabilitation measures database. URL:www.sralab.org/rehabilitation-measures.

22. Чайковський І.А., Будник М.М., Старинська Г.А. Спосіб універсальної бальної оцінки електрокардіограми // Патент UA 104827 U, A61B 5/0402, A61B 5/0205, опубл. 25.02.2016, Бюл. №14.

23. Палагін О.В., Семикопна Т.В., Чайковський І.А., Сивак О.В. Теле-реабілітація: інформаційно-технологічна підтримка та досвід використання. *Клінічна інформатика і телемедицина*. 2020. 15 (16). С. 35-44. DOI: <https://doi.org/10.31071/kit2020.16.15>.

24. Оценка психического напряжения оператора на основе анализа объективной и субъективной реакции на эмоционально окрашенные видеоклипы : препринт / Чайковський І. А., Кальниш В.В., Кривова О.А., Будник М.М. та ін. Київ : Ін-т кібернетики ім. В.М.Глушкова НАНУ, Ін-т медицини праці НАМНУ, МННЦ ITiC МОНУ і НАНУ, 2014. 43 с.

ДОДАТОК А

КОМПЛЕКС ТЕЛЕРЕАБІЛІТАЦІЙНИХ ПРОЦЕДУР

А 1 Програма фізичної терапії

А 1.1 1-3 тижні після операції:

— це легкі та безпечні вправи, які можна починати на першу добу після оперативного втручання;

- виконуйте кожную вправу 10 разів;
- повторюйте кожную вправу 3 рази на день.

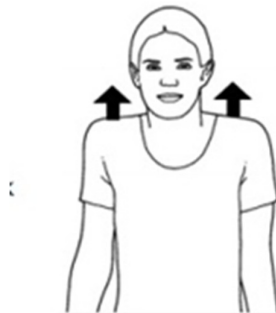
1. Вхідне положення, лежачи або сидячи. В кисті еспандер або губка для посуду:

- згинання та розгинання у кисті, 10 разів, робити кожную годину.



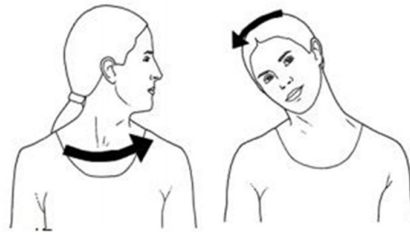
2. Вхідне положення, сидячи на ліжку або стільці:

- підняття плечей вгору до вух. зведіть лопатки ззаду;
- опустіть плечі та розслабтесь (повторіть 5-10 разів).



3. Вхідне положення, сидячи на ліжку або стільці:

- повільно повертайте голову, дивлячись на кожне плече, наскільки можете;
- нахиліть голову в одну сторону, а потім в іншу, як можна ближче до плеча як вам зручно (повторіть 5-10 разів).



4. Вхідне положення, сидячи на ліжку або стільці:
- рухи по колу у плечових суглобах вперед та назад (повторіть 5-10 разів).



5. Вхідне положення, сидячи на ліжку або стоячи:
- руки зігнуті у ліктях;
 - поверніть передпліччя назовні (повторіть 5-10 разів).



6. Маятник:
- рукою, на якій не було оперативного втручання, опиратися об стіл;
 - розмахувати рукою, на якій було оперативне втручання, колові рухи (повторіть 5-10 разів).



А 1.2 3-6 тиждень після операції

1. Ходьба

Ходьба може покращити роботу серця і легенів, а також підвищити енергію і настрій.

Інструкції пацієнтці:

- гуляйте щонайменше 4 рази на день;
- почніть з прогулянок тривалістю від 10 до 15 хвилин.

2. Практика правильної постави:

Ця вправа допомагає покращити дихання та запобігти напруженню м'язів навколо грудей, шиї, спини та плечей.

Інструкції пацієнтці:

- нехай ваші руки природно звисають по боках тіла;
- встаньте прямо і високо, опустивши плечі і розслабившись;
- уникайте округлення плечей і сутулості. Тримайте плечі опущеними і розслабленими;
- не нахиляйте голову вперед або назад. Тримайте голову на одному рівні з мочками вух на одній лінії з плечима;
- часто коригуйте свою поставу протягом дня.

3. Мета виконання вправ – допомогти відновити повноцінний рух у плечі.

Інструкції пацієнтці:

- тримайте кожну вправу 15-30 секунд;
- ви повинні відчувати розтягнення, а не різкий біль;
- повторіть кожну вправу 10 разів;
- робіть ці вправи 3 рази на день.

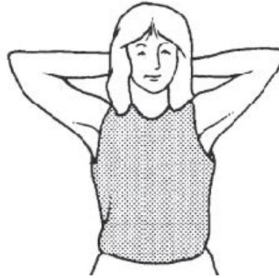
3.1. Лікоть push-back

Ця вправа допомагає збільшити рух в передній частині грудей і плечі. Її можна виконувати стоячи біля стіни або лежачи на спині.

Інструкції пацієнтці:

- кисті у замок, покладіть за голову, на рівні шиї;

- розведіть лікті в бік наскільки це можливо;
- коли ви дістанетесь до того місця, де ви відчуваєте гарне розтягнення (але не біль), зробіть 3-5 глибоких вдихів і тримайте у такому положенні. Тримайте шию прямо і розслаблено (повторіть 5-10 разів).



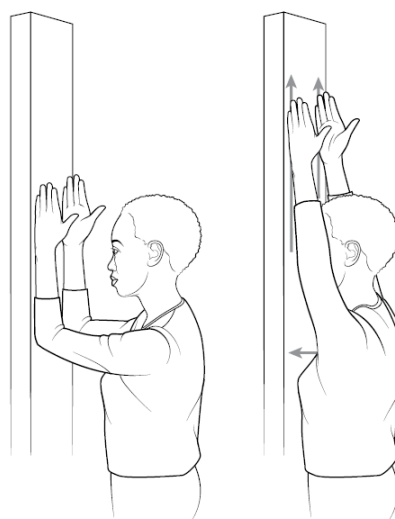
3.2. Згинання у плечовому суглобу біля стінки

Ця вправа допомагає збільшити рух вперед у плечі.

Інструкції пацієнці:

- вхідне положення, стоячи обличчям до стінки;
- підняти руку вгору по стіні, на скільки це можливо;
- коли пацієнт дістанеться до того, де відчуває гарне розтягнення (але не біль), зробіть глибокий вдих і утримуйте руку в такому положенні 15 секунд;
- поверніться у вихідне положення повільно опускаючи руку вниз;
- зробіть 3-5 глибоких вдихів і тримайте у такому положенні. Тримайте шию прямо і розслаблено (повторіть 5-10 разів).

Спробуйте щоразу досягати трохи вище.

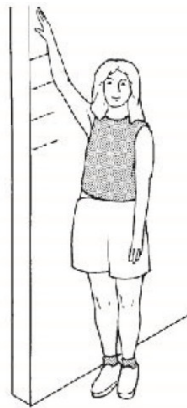


3.3. Відведення плеча у бік, біля стінки

Інструкції пацієнтці:

Вхідне положення стоячи біля стінки, зі сторони боку на якому було оперативне втручання.

- підніміть руку у бік ураженою стороною верх, в сторону стінки, наскільки це можливо. Коли пацієнт починає відчувати легкий розтяг (але не біль, зробіть затримку 10 сек.);
- поверніться у вихідне положення, опускаючи руку вниз по стіні;
- зробіть 3-5 глибоких вдихів і тримайте у такому положенні (повторіть 5-10 разів).



3.4. Ця вправа для збільшення амплітуди рухів у плечовому суглобі вперед у положенні лежачи.

Інструкції пацієнтці:

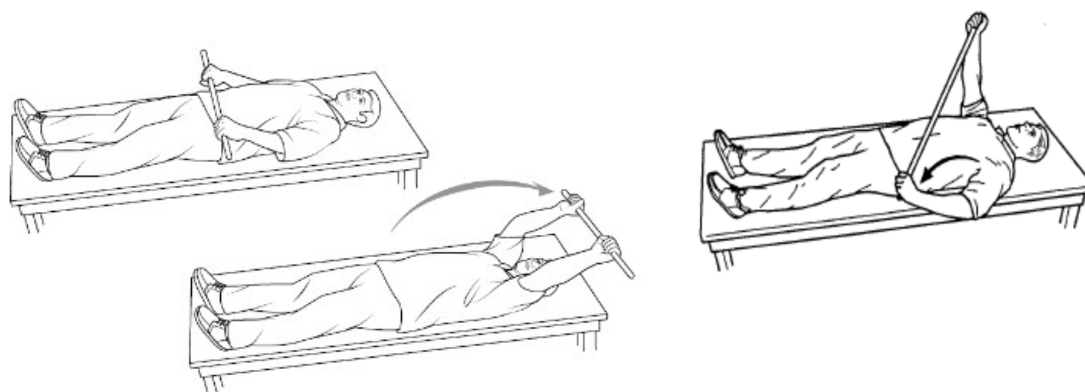
- ляжте на спину і тримайте палицю обома руками, долонями вниз;
- тримаючи лікті прямо, підніміть палицю над головою, використовуйте здорову руку щоб підняти палицю;
- зробіть 3-5 глибоких вдихів і тримайте у такому положенні. Повторіть 5-10 разів, відчуваючи легкий розтяг на місці рубця.



3.5. Піднімання руки в сторони, використовуючи тростину.

Інструкції пацієнці:

- вхідне положення, лежачи на спині, тримайте палицю обома руками, долонями вниз;
- підніміть палицю вгору перед собою;
- перемістіть палицю в бік, на якому вам зробили операцію;
- зробіть 3-5 глибоких вдихів і тримайте у такому положенні, повторіть 5-10 разів, відчуваючи легкий розтяг на місці рубця.



3.6. Розтягнення грудної частини біля стінки

Інструкції пацієнці:

- вхідне положення, стоячи біля стінки обличчям, у куті, щоб розтягнення було з двох сторін, також можна робити розтягнення у двірному отворі;
- згинання у плечових суглобах 90 градусів, лікті на рівні плечей;
- зробіть 3-5 глибоких вдихів і тримайте у такому положенні. Повторіть 5-10 разів, відчуваючи легке розтягнення на місці рубця.



ДОДАТОК Б

РЕАБІЛІТАЦІЙНИЙ ДІАГНОЗ ТА ПРОГРАМА РЕАБІЛІТАЦІЇ ХВОРИХ З ЛІМФАТИЧНИМ НАБРЯКОМ ВЕРХНЬОЇ КІНЦІВКИ ПІСЛЯ МАСТЕКТОМІЇ

За даними ВООЗ на лімфостаз у світі страждають близько 140 млн людей. Соціальну значимість проблеми обумовлює переважання серед пацієнтів осіб працездатного віку. Неадекватність або неефективність лікування призводять до прогресування хвороби, що значно погіршує якість життя жінок та веде до їх інвалідизації.

Лімфостаз поділяється на первинний та вторинний, який зустрічається набагато частіше і виникає на тлі запальних захворювань, травм та хірургічних втручань, променевої терапії. Серед причин вторинного лімфостазу значне місце посідає лімфатичний набряк верхньої кінцівки як ускладнення розширеної мастектомії, спричиненої лікуванням РМЗ.

Рак молочної залози займає перше місце у переліку злоякісних новоутворень у жінок. Щорічно рак молочної залози виявляють у 2,1 млн жінок. В Україні за 2019 рік такий діагноз встановили понад 14 000 жінок. У кожній 4-ї жінки рак молочної залози діагностують у III – IV стадії, коли ефективність лікування значно знижується.

Лімфостаз верхньої кінцівки після мастектомії розвивається в 35 – 40% випадків та є одним з найскладніших довготермінових ускладнень лікування раку молочної залози. При відсутності належного лікування лімфостаз провокує виникнення вторинних ускладнень, таких як бешиха, лімфорей, лімфангіт, пахвовий тромбоз вен, тромбофлебіт та навіть лімфангіосаркома. Тому ця проблема має особливе медико-соціальне значення та детермінує необхідність раннього початку реабілітації.

Б 1 Обстеження жінок після мастектомії, які дозволяють індивідуалізувати реабілітаційний процес

При виборі методів обстеження та реабілітації важливе значення має клінічний діагноз, стадія пухлинного процесу та клінічна група.

1. **Скарги**, пов'язані з лімфатичним набряком, в залежності від ступеня важкості лімфостазу, мають різну вираженість, але у більшості хворих це: гіперчутливість шкіри, парестезії, відчуття поколювання, повзання мурах, оніміння, відчуття здерев'яніння і скутості у руці, біль (пекучий, тупий, розпираючий, ниючий), м'язова слабкість, порушення рухів у всіх суглобах руки через її набряк.

2. **Анамнез життя**. Враховується вік, сімейний стан, наявність дітей, освіта, вид діяльності, супутні захворювання, які можуть негативно впливати на процес відновлення після операції.

3. **Анамнез хвороби**. Важливе значення має стадія, на якій виявлено пухлину, час між виявленням пухлини та операцією, оскільки від цього залежить об'єм оперативного втручання, призначення комплексного лікування (променева, хіміо- та гормонотерапія), прогноз можливих ускладнень, а отже частота та інтенсивність проведення реабілітаційних занять.

4. **Огляд**. Проводиться візуальний огляд грудної клітки та постави, оскільки після операції можливий розвиток сколіозу, «крилоподібної лопатки», западання підключичної ділянки, оцінюється стан шкіри та післяопераційного рубця.

5. **Антропометричні дані**. Вимірювання довжини тіла, ваги дозволяє розрахувати ваго-ростові індекси Брока та/ або Кетле для оцінки фізичного розвитку жінки, відповідності статі та віку.

6. **Вимірювання окружності плеча, передпліччя та кисті обох верхніх кінцівок** для можливості порівняння при виникненні лімфатичного набряку.

7. **Гоніометрія** проводиться для оцінки порушень функції верхньої кінцівки (відведення, піднімання, внутрішня та зовнішня ротація), бо крім моло-

чної залози з пухлиною видаляються грудні м'язи, пахові та підключичні лімфовузли з прилеглою клітковиною, що може призвести до обмеження рухів у плечовому суглобі і розвитку фіброзу.

8. **Динамометрія** з метою визначення порушень м'язової системи, які можуть призвести до атрофії м'язів у майбутньому.

Б 2 Дослідження стану дихальної та серцево – судинної систем

Оскільки видалення малого і великого грудного м'язів та наявність післяопераційного рубця можуть ускладнити акт вдиху та видиху, обов'язково оцінюється стан дихальної системи для визначення реакції на фізичне навантаження. Окрім того, при складанні індивідуальної реабілітаційної програми враховується стан та супутні захворювання серцево-судинної системи.

1. Окружність грудної клітки (на вдосі, видосі, екскурсія).
2. Життєва ємність легень (ЖЄЛ).
3. Частота та тип дихання.
4. Частота серцевих скорочень.
5. Артеріальний та пульсовий тиск.
6. Життєвий індекс.
7. Індекс Скібінського.
8. Проба Штанге.
9. Проба Генчі.
10. Проба Розенталя.
11. Проба Руф'є.
12. Адаптаційний потенціал за формулою Баєвського Р.М.

Оцінювання болю проводиться за опитувальником Мак – Гілла та/ або-коротким опитувальником С. Cleeland, та/або візуально-аналоговою шкалою.

Психологічна оцінка проводиться за результатами опитування за «**Шпитальною шкалою депресії та тривоги**» (Hospital anxiety and depression scale) Henemann A.W., так як у прооперованих жінок можливі порушення у психо-емоційній сфері, що супроводжуються депресією та тривожними станами.

Визначення рівня якості життя онкохворих перед початком реабілітації дає можливість ефективно спрогнозувати очікувані пацієнтом результати лікування і проводиться за **стандартним опитувальником EORTCQLQ-C30 та SF – 36** (J.Ware та співавтори).

Інформація, отримана при оцінці якості життя до, в процесі та після лікування, розкриває індивідуальну реакцію на лікувальні та реабілітаційні процедури та на хворобу в цілому. В результаті проведеної оцінки якості життя отримується якісна інтегрально-цифрова характеристика стану здоров'я пацієнта в напрямку фізичного, психоемоційного, соціально-трудового та функціонального аспектів життя.

Б 3 Методики реабілітаційного обстеження

Призначення проби	Методика проведення (формула визначення)	Інтерпретація отриманих даних
Індекс Брока		
Розрахунок ідеальної ваги без урахування віку і тілобудови для жінок зі зростом 155-185 см.	Ідеальна вага = (зріст - 100) x 0,85	Показник менше норми – жінка пониженого харчування. Показник більше норми – надмірна вага тіла.
Індекс Брока - Бругша		
Розрахунок ідеальної ваги для жінок зі зростом менше 155 і більше 170 см.	При зрості менше 165 см: ідеальна вага = зріст – 100 При зрості 165 - 175 см: ідеальна вага = зріст – 105 При зрості більше 175 см: ідеальна вага = зріст – 110	Показник менше норми – жінка пониженого харчування. Показник більше норми – надмірна вага тіла.
Індекс Кетле		
Індекс маси тіла, що дозволяє оцінити ступінь відповідності маси людини та її зросту.	$IMT = m : h^2$, де: m – маса тіла в кг, h – зріст в м; результат – в m^2	Недостатня маса – менше 18,5 Нормальна маса – 18,5 - 25 Надмірна маса – 25 - 30 Ожиріння – більше 30
Життєва ємність легень (ЖЄЛ)		
ЖЄЛ – кількість повітря, яку пацієнт може видихнути після максимального вдиху. Досліджують за допомогою спірометра. Служить для визна-	За показник ЖЄЛ беруть максимальне значення, отримане при 3-4 спробах. Норма визначається за таблицями, де враховані стать, зріст, маса тіла. В нормі у жінок складає 2500 – 3500 мл.	Діапазон від 80 до 70% трактується індивідуально: у старших вікових груп це може бути нормою, для молодого і середнього віку – початкові ознаки обструкції. Якщо показник

чення функції апарату зовнішнього дихання.		менше 70% - ознака патології.
Життєвий індекс (ЖІ)		
Життєвий індекс – співвідношення ЖЄЛ до маси тіла.	Середнє значення ЖІ для жінок – 55-60 мл/кг.	

Індекс Скібінського (ІС)		
Індекс Скібінського використовується для оцінки стану кардіо-респіраторної системи та відображає їх функціональні резерви.	Після 5-ти хв відпочинку у положенні стоячи виміряють ЧСС, ЖЄЛ. Через 5 хв після спокійного вдиху затримують дихання. $IS = ЖЄЛ(мл) \times t(сек) : ЧСС (уд/хв)$, де t – час затримки дихання на вдиху. В нормі складає для жінок 1500 – 2900 у.о.	
Проба Штанге		
Проба із затримкою дихання під час вдиху для оцінки дихальної функції та стану серцево-судинної системи.	Проба виконується сидячи. Робиться глибокий, але не максимальний вдих і затримка дихання (стискаючи ніс пальцями). Після проби виміряють ЧСС 30 сек. Норма затримки дихання для жінок 30 – 40 сек. Показник реакції (ПР) - відношення ЧСС після проби / до ЧСС до проби = в нормі 1,2.	Менше 30 сек затримки дихання – функціональні можливості дихальної системи знижені. Збільшення ПР більше 1,2 вказує на несприятливу реакцію серцево-судинної системи і недостатність кисню.
Проба Генчі		
Проба із затримкою дихання на видиху. Застосовується для аналізу системи зовнішнього дихання та виявлення прихованої коронарної недостатності, а також визначення стійкості до гіпоксії.	Перед пробою у положенні стоячи виміряють ЧСС за 30 сек. Проба проводиться в положенні лежачи. Робиться звичайний вдих і затримується дихання. Після проби виміряють ЧСС 30 сек. Норма затримки дихання для жінок 20 – 30 сек. ПР в нормі 1,2.	Менше 20 сек затримки дихання – функціональні можливості дихальної системи знижені. Збільшення ПР більше 1,2 вказує на несприятливу реакцію серцево-судинної системи і недостатність кисню.
Проба Розенталя		
Результати проби дозволяють оцінити наявність і ступінь стомлення дихальних м'язів.	П'ятикратний вимір ЖЄЛ через 15-секундні інтервали часу.	Якщо ЖЄЛ не змінюється – функційний стан дихальної системи задовільний, якщо кожне наступне вимірювання менше за попереднє – це свідчить про втому дихальних та інших скелетних м'язів.
Проба Руфф'є (ПР)		
ПР – простий непрямий метод визначення фізичної працездатності, в якому використовують значення ЧСС у різні періоди відновлення після відносно невеликих навантажень.	Сидячи через 5 хв відпочинку виміряють ЧСС за 15 сек (ЧСС1). Потім після 30 присідань з витягнутими вперед руками за 45 сек, пацієнт сідає і йому виміряють ЧСС за перші 15 сек після навантаження (ЧСС2) і в останні 15 сек першої хв після навантаження (ЧСС3). $Індекс\ Руфф'є = 4 \times (ЧСС1 + ЧСС2 + ЧСС3) - 200 / 10$	Оцінка індексу: 3 і менше – висока; 4 – 6 – хороша; 7 – 9 – середня; 10 – 14 – задовільна; 15 і більше – погана працездатність.

Адаптаційний потенціал за формулою Басвського Р.М.		
Визначає адаптаційний потенціал серцево-судинної системи.	$АП = 0,011 \times ЧСС + 0,014 \times АТс + 0,008 \times АТд + 0,014 \times N + 0,009 \times M - 0,009 \times L - 0,27$ ЧСС у спокої; АТс – систолічний; АТд – діастолічний тиск; N – вік; M – маса тіла; L – довжина тіла.	2,1 і менше – задовільна адаптація; 2,11 – 3,2 - напруга механізмів адаптації; 3,21 – 4,3 – незадовільна адаптація; 4,3 і більше – зрив адаптації.
Опитувальник болю Мак – Гілла		
Є анкетой з різними характеристиками болю. Якісні особливості болю (78 слів) розподілено на 20 класів (субшкал), об'єднаних у 3 великі групи: 1 - сенсорно-дискримінативні (ноцицептивні шляхи проведення); 2 - мотиваційно-афективні (ретикулярна формація і лімбічні структури); 3 - когнітивно-оцінювальні (кора головного мозку).	Пацієнтка обирає позиції (дескриптори), які відповідають її відчуттям на цей момент у будь-якому із 20 підкласів (необов'язково у кожному, але лише 1 слово у підкласі). Кожне обране слово має числовий показник, який відповідає порядковому номеру слова у підкласі. Результати опитувальника можна проаналізувати за кожною групою параметрів (сенсорна, афективна, оцінювальна та багатоаспектна). Вираховують 2 основні показники: індекс кількості вибраних дескрипторів (ІКВД) (сума обраних слів) та ранговий індекс болю (РІБ (сума порядкових номерів дескрипторів у субкласах).	Результати опитування використовують для оцінки болю та емоційного стану пацієнта.
Короткий опитувальник С. Cleeland		
Дає змогу оцінити тяжкість больового синдрому за допомогою обрахунку середнього арифметичного із суми балів 4 10-бальних шкал, які оцінюють інтенсивність больового синдрому протягом останньої доби (найслабший, помірний, найсильніший) і на момент обстеження. Вплив больового синдрому на якість життя оцінюють шляхом обрахунку середнього арифметичного із суми балів 7 10-бальних шкал оцінки різних аспектів повсякденного життя (сон, настрої, здатність працювати та отримувати задоволення тощо).		
Візуально-аналогова шкала болю		
Візуально-аналогову шкалу болю доцільно застосовувати в умовах обмеженого часу та за потреби систематичної оцінки болю.		

Ступені важкості лімфатичного набряку за класифікацією Будяка В.А. (порівняння різниці в показниках здорової та оперованої кінцівки : І – легкий – збільшення до 2 см, ІІ – середній – збільшення 2 – 6 см, ІІІ – важкий – більше 6 см).



Враховуючи, що жінки з досліджуваною патологією працездатного віку, і навіть пенсіонери за віком часто продовжують працювати, необхідність активно займатися усіма видами домашнього господарства, довготривала реабілітаційна мета – повернення до попереднього способу життя і праці.

Короткочасні цілі визначаються:

- видом оперативного втручання;
- реабілітаційним періодом;
- загальним станом пацієнтки;
- станом рани;
- віком;
- супутніми захворюваннями;
- фізичною тренованістю в доопераційному періоді.

Б 4 Реабілітаційний діагноз

Клінічний діагноз: I 97.2 (лімфатичний набряк після мастектомії)	Довготривала мета: повернення до колишнього способу життя і праці. Програмна мета1 (передопераційний період реабілітації): - поліпшення функціонального стану серцево-судинної та дихальної систем; - позитивне психологічне налаштування пацієнтки на операцію. Програмна мета 2(ранній післяопераційний 1 – 3 доба): - профілактика виникнення пневмонії та ателектазу в легенях; - боротьба з гіпостатичними явищами; - прискорення регенерації після оперативного втручання; - профілактика м'язової атрофії; - профілактика лімфостазу верхньої кінцівки з боку операції; - профілактика формування контрактури плечового суглоба.

Програмна мета 3 (пізній післяопераційний 4 – 7 доба): - продовження заходів по попередженню лімфатичного набряку; - прискорення процесів регенерації в ділянці післяопераційного рубця; - відновлення побутових навичок; - відновлення амплітуди рухів у плечовому суглобі; - збільшення сили м'язів верхньої кінцівки; - адаптація до поступового розширення рухової активності. Програмна мета 4 (відновний 8 – 21 доба): - профілактика (ліквідація) лімфатичного набряку; - відновлення амплітуди рухів у плечовому суглобі; - збільшення сили м'язів верхньої кінцівки; - підготовка до занять лікувальною гімнастикою вдома; - підготовка шкіри та післяопераційного рубця до зовнішнього протезування. Програмна мета 5 (тренуючий з 3-го тижня): - профілактика (ліквідація) лімфатичного набряку; - адаптація до навантажень побутового і професійного характеру; - відновлення функції верхньої кінцівки; - укріплення м'язів плечового поясу; - підвищення функціональних можливостей дихальної та серцево – судинної систем; - поліпшення психоемоційного стану та якості життя; - соціальна реінтеграція.			
Пациєнт	Шкіра руки дуже чутлива до дотику, часто турбує оніміння, поколювання, розпираючий, ниючий, пекучий біль у руці. Непокоїть відчуття слабкості, здерев'яніння і скутості у руці.	Важко доглядати за собою. Труднощі у приготуванні їжі, у виконанні повсякденної роботи. Через набряк важко виконувати роботу за допомогою пальців, кисті, піднімати та переносити речі.	Труднощі у використанні телефона, користуванні соцмережами (Viber, Facebook тощо) Неможливість у повному обсязі виконувати професійні обов'язки, страх втратити через це роботу Хвилювання, що фізична неспроможність робить її тягарем для рідних, а післяопераційний дефект привів до втрати фізичної привабливості

Фізичний терапевт	Функції і структури організму	Активність	Участь
	b 2702 Тактильна чутливість b 279 Додаткові сенсорні функції, інші уточнені і не уточнені b 280 Відчуття болю b4352 Функції лімфатичних судин b4353 Функції лімфатичних вузлів b7101 Рухливість декількох суглобів b7301 Сила м'язів однієї кінцівки b7351 Тонус м'язів однієї кінцівки b7800 Відчуття м'язової скутості b 840 Відчуття, пов'язані із шкірою s7308 Структура верхньої кінцівки, інша уточнена (лімфатичні судини, вени, шкіра, підшкірна клітковина)	d 4300 Підняття d 4300 Перенесення за допомогою кистей d440 Використання точних рухів кистей d510 Миття d520 Догляд за частинами тіла d530 Фізіологічні відправлення d540 Одягання d 630 Приготування їжі d640 Виконання домашньої роботи	d 369 Розмова та спілкування з використанням засобів зв'язку та технік спілкування d 8451 Виконання трудових обов'язків
Фактори навколишнього середовища		Особистісні фактори	
	e 1151 Допоміжні засоби та технології для персонального повсякденного вжитку e310 Родина та найближчі родичі e320 Друзі e3253 найомі, однолітки, колеги, сусіди та члени спільноти e330 Особи, наділені владою та авторитетом e355 Професійні медичні працівники		

Б 5 План комплексних реабілітаційних втручань

Реабілітаційні періоди	Реабілітаційні заходи	Склад реабілітаційної команди
Передопераційний	- Дихальні вправи з подовженим видихом; - вправи на розслаблення; - навчання прийомів самоконтролю та переміщення в ліжку, безболісного відкашлювання, піднімання таза в положенні лежачи на спині, діафрагмального дихання; - навчання прийомів аутогенного тренування.	Лікар ФРМ Хірург-онколог Фізичний терапевт Асистент фізичного терапевта Лікар-психолог

Ранній післяопераційний (1- 3 доба)	- Компресія в ділянці післяопераційного рубця, догляд за раною; - диференційовані методики дихальної гімнастики; - активні рухи у максимально можливому обсязі в дрібних суглобах у повільному темпі з невеликою кількістю повторів (всі вправи виконують у положенні лежачи); - укладання руки на елеваційну подушку з відведенням на 30 – 40°; - з перших днів після операції дозволяється сидати та піднімати руку з прооперованого боку на 45°; - залежно від стану пацієнтки, дозволяється вставати і здійснювати деякі гігієнічні процедури із сторонньою допомогою; - рефлекторний масаж верхньої кінцівки на здоровій стороні; - на 2-ий день надягати компресійний рукав на 6 – 8 годин після попереднього масажу тривалістю 5 – 10 хвилин.	Лікар ФРМ Хірург-онколог Фізичний терапевт Асистент фізичного терапевта Реабілітаційна медсестра Лікар-психолог
Пізній післяопераційний (4-7 доба)	Продовжують реабілітаційні засоби раннього післяопераційного періоду; - диференційовані методики дихальної гімнастики; - загальнозміцнюючі вправи виконують як самостійно так і в поєднанні з гімнастичними предметами; - з 4 дня вправи виконують сидячи, з 7 - стоячи; - постізометрична релаксація спазмованих м'язів; - кінезіотейпінг; - розширення рухового режиму; - навчання пацієнтки прийомів самомасажу; - психотерапія.	Лікар ФРМ Хірург-онколог Фізичний терапевт Асистент фізичного терапевта Лікар-психолог
Відновний (8-21 день)	- Лікувальна гімнастика; - механотерапія; - зовнішнє протезування, підбір спеціалізованої білизни. При появі ознак лімфатичного набряку: - носіння компресійного рукава; - пневматична компресія руки; - лімфодренажний масаж; - електронейростимуляція м'язів плечового пояса; - низькочастотна магнітотерапія. Психотерапія.	Лікар ФРМ Фізичний терапевт Асистент фізичного терапевта Спеціаліст з протезування Психолог (психотерапевт)

Тренуючий (з 3-го тижня)	- Лікувальна гімнастика; - гідрокінезотерапія: плавання, аквафітнес; - аеробіка, йога, пілатес, стретчинг. При розвитку лімфостазу: - фізичні вправи для покращення мікроциркуляції, лімфовенозного відтоку в руці, плечовому поясі; - лімфодренажний масаж; - диференційована фізіотерапія; - медикаментозне лікування. Психотерапія.	Лікар ФРМ Фізичний терапевт Асистент фізичного терапевта Психолог(психотерапевт)

Компресія в ділянці операційного рубця проводиться у першу добу по операції для зменшення або попередження виникнення ранніх постмастектомічних ускладнень (лімфореї, сероми, некрозу шкірних клаптів), попередження розходження країв рани та покращення вентиляції легень, оскільки тиснуча пов'язка дозволяє виконати максимально можливий в даному стані вдих та видих.

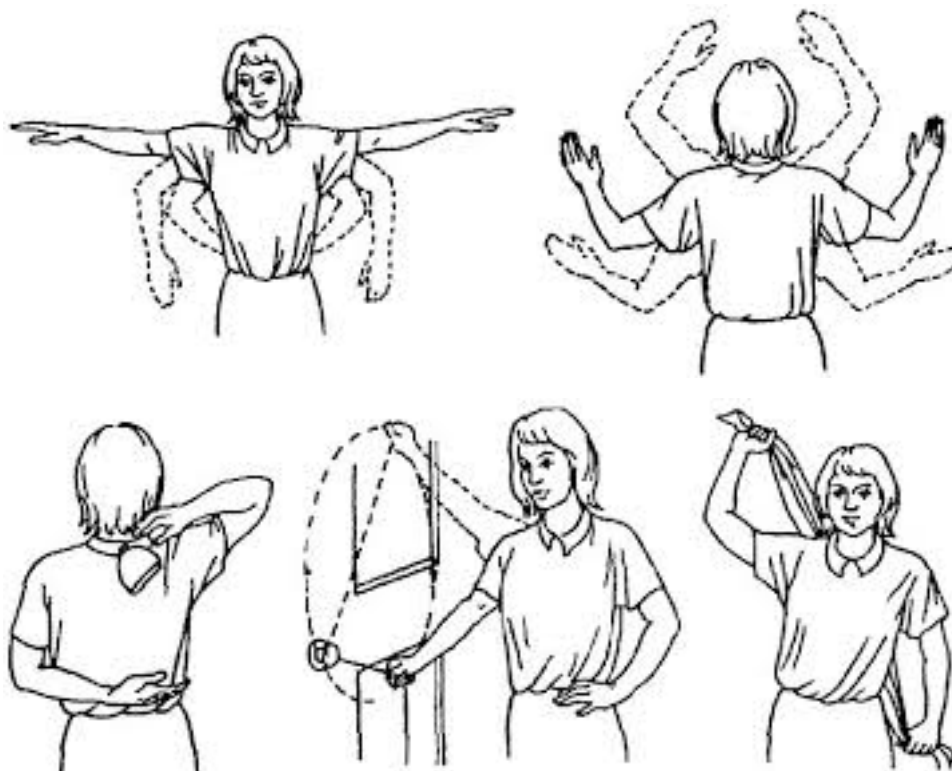
Диференційовані методики дихальної гімнастики застосовуються для активізації функції зовнішнього дихання та кровообігу, профілактики застійної пневмонії, що є вкрай важливим при перебуванні у стаціонарі та малорухливому способі життя. Статичні дихальні вправи для тренування типів дихання, навчання правильно поєднувати їх з повним диханням та змінювати фази дихального циклу. Рекомендовано застосовувати загальноприйняті методики тренування «грудного» та «черевного» типів дихання, а також «ключичне» та «повне» дихання. «Ключичне» дихання здійснюється у положенні сидячи чи стоячи після видиху виконується повільний вдих через ніс з підніманням вгору плечей, ключиць і рухом лише верхніх ребер. При видиху плечі опускаються. Цей тип дихання сприяє покращенню функціонування лімфатичних вузлів. Техніка «повного» дихання, об'єднує переваги усіх способів.

Лікувальні положення. Спеціальні лікувальні положення застосовуються з метою профілактики виникнення набряку на кінцівці з оперованої сторони та профілактики розвитку контрактур. Елевація кінцівки проводиться на 25-40° (розвантажувальні не щільно укладені положення) для покращення

крово- та лімфотоку. Висота підняття кінцівки визначається залежно від стану післяопераційної рани, величини набряку та загального стану пацієнтки. Для проведення даної процедури застосовують подушки, ковдри або елеваційні клини.



Фізичні вправи активного та пасивного характеру. Вправи з ізометричним напруженням та протидією, вправи для покращення самообслуговування.



ПІР (постізометрична релаксація) є технічним різновидом мануальної терапії (Lewit K., 1980). Вона застосовується для викликання релаксації і анальгезії м'язів. Суть методики полягає в поєднанні короткочасної 5-10 с ізометричної роботи мінімальної інтенсивності і пасивного розтягнення м'яза в наступні

5-10 с. Повторення таких поєднань проводиться 3-6 разів. У результаті в м'язі виникає стійка гіпотонія і зникає вихідна болючість

Гідрокінезотерапія: виконання вправ у водному середовищі (плавання, аквафітнес) сприяє покращенню мікроциркуляції, зменшенню або ліквідації лімфостазу завдяки гідростатичному тиску, температурному чиннику та опору води під час рухів. З цією ж метою жінок навчають самостійному використанню в домашніх умовах душа – масажу. Рекомендують верхню кінцівку встановити у вертикальному положенні під тупим кутом до стіни і за допомогою душу при середньому тиску води, температура якої не перевищує 40⁰, плавно рухати струменем води у напрямку від кінчиків пальців до плеча впродовж 5-7 хвилин.



Кінезотейпування – методика аплікації спеціальних еластичних пластирів/ стрічок. Сама стрічка і методика її накладення були розроблені в 1973 лікарем-хіропрактиком з Японії Кензо Касі. Суть методу полягає в унікальній техніці накладення стрічки, який залежно від того, з яким натягом, напрямком і

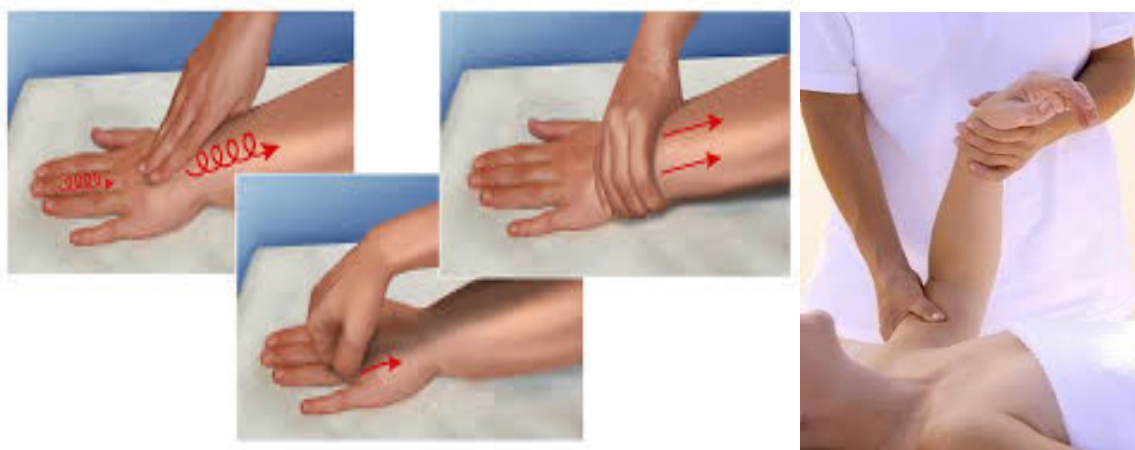
методом нарізки буде накладено, може вирішувати широкий спектр терапевтичних завдань. Для розуміння механізму дії кінезіотейпування необхідно пам'ятати, що м'язи значною мірою сприяють кровообігу і лімфоциркуляції.



Бандажування кінцівки – це спеціальна методика, що може бути застосована при лімфостазі верхніх та нижніх кінцівок. Цей метод застосовується в Європі протягом десятиліть в поєднанні з ручним лімфатичним дренажем; він визнаний дуже ефективним, якщо виконується правильно. Пов'язки накладаються, щоб посилити тиск в тканинах кінцівки та досягнути зменшення набряку. Такий метод лікування є ідеальним для пацієнтів, що подорожують, так як накладати пов'язку пацієнт може самостійно. Компресійне бандажування застосовується як складова частина комплексної терапії лімфостазу і проводиться після сеансу мануального лімфодренажу. Дослідження показують, що при правильному накладенні пов'язки артеріальні судини звужуються лише незначно. Об'єм крові на венозній ділянці стає меншим, просвіт вен зменшується, внаслідок чого збільшується швидкість кровотоку (профілактика тромбозів). Ще одна позитивна дія компресійного бандажування полягає в зниженні проникності капілярної стінки для плазмопротеїнів, внаслідок чого знижується білкове навантаження на лімфу. Крім того, компресійні пов'язки також сприяють поліпшенню транспортування лімфи. Протипоказами до застосування компресійного бандажування є наявність ознак порушення артеріального кровотоку.



Мануальний лімфодренаж (лімфодренажний масаж) – це спеціальна методика масажу, яка має на меті перш за все підтримувати і підсилювати дренажну функцію лімфатичних судин, а також всмоктуючу і транспортну функції лімфатичної системи. Мануальний лімфодренаж підтримує не лише циркуляцію лімфи, але і відводить її накопичення з тканинних депо у відповідний колектор. Головним елементом цієї терапії є легкий масаж поверхневої сполучної тканини, а не глибоко розташованих м'язів у зворотно-поступовому напрямку. Це стимулює ослаблену лімфатичну систему за рахунок посилення відтоку рідини, що застоюлася, крізь судини, даючи венозній системі змогу реабсорбувати рідину і сприяти розвитку нових колатеральних каналів, через які лімфа могла б відновити свій рух.



Пневмокомпресія верхньої кінцівки – метод пневмокомпресійної терапії полягає в проведенні циклічного масажу верхньої кінцівки з метою профілактики і лікування венозних та лімфатичних порушень. В основі роботи пристрою лежить контрольована мікропроцесором періодична подача стиснутого

повітря в герметичну манжету і його видалення. Циклічні зміни тиску відбуваються послідовно від периферії до основи кінцівки. При цьому ліквідується венозний застій, знижується фільтрація тканинної рідини, покращується оксигенація тканин, стимулюється відтік лімфи і венозної крові.

Протипоказання:

1. Запальні та аутоімунні процеси в судинах.
2. Тромбофлебіт в стадії загострення та в анамнезі.
3. Порушення у згортувальній системі крові.
4. Гострі інфекційні захворювання.
5. Гострі запальні і травматичні процеси в кінцівках.
6. Лімфангіїт та лімфаденіт.
7. Гостра серцево-легенева недостатність.
8. Хронічна декомпенсація функції органів (серця, легенів, печінки, нирок).
9. Наявність кардіостимулятора.
10. Вегетативні розлади.
11. Фібриляція передсердь.

Зовнішнє протезування використовують для профілактики порушень постави, вагової асиметрії, деформації грудної клітки, опущення плечей. Так як у жінок після операції часто виникає відчуття втрати жіночності, неповноцінності і неповноспроможності, вони схильні перебільшувати косметичні наслідки операції, акцентувати увагу на зміненому, на їх думку, ставленні до них оточуючих, швидка і ефективна корекція постмастектомічного дефекту сприяє зниженню рівня астено-тривожно-депресивного стану і, як наслідок, поліпшення психоемоційного стану та якості життя.



Вправи з аеробіки, йоги, пілатесу, стретчингу позитивно впливають на функціональний стан та якість життя жінок, викликають достовірні зміни фізичного стану, зменшують лімфатичний набряк, болі, прояви втоми, тривоги та депресії.



Т. І. Грушина – д-р мед. наук, керівник відділення медичної реабілітації онкохворих МНПЦ МРВСМ у статті «Показания для проведения медицинской реабилитации ряда онкологических больных с осложнениями радикального ле-

чення в умовах многопрофільного стационара» описує диференційоване застосування методів апаратної фізіотерапії в залежності від ступеня важкості лімфатичного набряку та наявності його вторинних ускладнень і доводить на підставі практичного досвіду, що застосування комплексу: пневмокомпресії, низькочастотної електронейростимуляції м'язів плечового поясу і магнітотерапії дає змогу зменшити об'єм набряклої кінцівки в середньому для всіх ступенів набряку на 75 %:

Ускладнення радикального лікування раку молочної залози	Методи фізіотерапії
Ранній лімф. набряк в/к на стороні операції III – IV ст.	Пневматична компресія Масаж в електростатичному полі
Ранній лімфовенозний набряк III – IV ст. без флеботромбоза	Пневматична компресія Магнітотерапія
Пізній лімф. набряк III – IV ст.	Пневматична компресія Дренуючий масаж Лікувальна гімнастика
Пізній лімфовенозний набряк III – IV ст. без флеботромбоза	Пневматична компресія Магнітотерапія Дренуючий масаж Лікувальна гімнастика
Пізній лімфовенозний набряк I – IV ст., викликаний посттромбофлебітичним синдромом	Пневматична компресія Магнітотерапія Дренуючий масаж
Набряк в/к III – IV ст. і наявність в анамнезі бешихи протягом останніх 3 – 12 місяців	Продовження ступінчатої антибіотикотерапії Пневматична компресія Магнітотерапія Лікувальна гімнастика

Б 6 Роль лікаря ФРМ

1. Організовує, очолює та забезпечує координацію виконання повного реабілітаційного циклу: медичне та реабілітаційне обстеження; встановлення реабілітаційних цілей, визначення реабілітаційних втручань, необхідних для досягнення цих цілей, визначення фахівців, які будуть проводити ці втручання; проведення реабілітаційних втручань; контроль ефективності реабілітаційних втручань відповідно до встановлених цілей; подальше коригування індивідуальної програми реабілітації.

2. Несе відповідальність за процес реабілітації в цілому.

3. Керується в роботі Міжнародною класифікацією функціонування,

обмеження життєдіяльності та здоров'я та Міжнародною класифікацією хвороб.

4. Працює як із залученням повного складу реабілітаційної команди, так і окремих фахівців реабілітації відповідно до виду реабілітації та індивідуальних реабілітаційних цілей та завдань. При необхідності залучає лікарів інших спеціальностей для надання медичної допомоги пацієнту.

5. Діяльність лікаря фізичної та реабілітаційної медицини спрямована на запобігання, стабілізацію, поліпшення або відновлення порушень структур та функцій організму, що виникли внаслідок різних хвороб та травм, оптимізацію активності та участі з урахуванням реабілітаційного прогнозу особи з обмеженням життєдіяльності незалежно від віку та існуючого діагнозу, а також стану оточуючого середовища.

6. Лікар ФРМ проводить медичне обстеження пацієнта, аналізує та інтерпретує результати методів параклінічного обстеження, зокрема дані рентгенологічного, ультразвукового, електронейроміографічного, електрокардіографічного досліджень, тестів оцінки функціонального стану серця та легень.

7. Лікар фізичної та реабілітаційної медицини проводить реабілітаційне обстеження, що ґрунтується на засадах Міжнародної класифікації функціонування, обмеження життєдіяльності та здоров'я та включає: складання переліку порушень структур та функцій, обмежень активності та участі, факторів навколишнього середовища (підтримка та ставлення родини, друзів, працеводців та суспільства; фізичне оточення; доступність послуг в сфері охорони здоров'я та інших послуг), персональних факторів (образ життя, звички, освіта, життєві події, соціальне підґрунтя), прогностичних факторів, визначення індивідуального реабілітаційного прогнозу та потреб, очікувань особи з обмеженням життєдіяльності.

8. Застосовує методи функціонального оцінювання: спеціалізовані шкали та опитувальники, мануальне м'язове тестування, динамометрію, оцінювання м'язового тону, ізокінетичне тестування, оцінювання обсягу рухів в суглобах.

9. Оцінює та інтерпретує дані ергометричного обстеження.
10. Із залученням усіх фахівців, залучених в режимі командного підходу до реабілітації, складає індивідуальну програму реабілітації для кожної особи з обмеженням життєдіяльності з метою проведення проблемно-орієнтованої, пацієнт-центричної реабілітації відповідно до реабілітаційного періоду.
11. Організовує командну взаємодію між фахівцями, залученими до реабілітації, з проведенням регулярних зборів.
12. Застосовує медичні інтервенції: медикаментозну терапію – лікування болю, запалення, системна регуляція м'язового тону, поліпшення когнітивних функцій, кальцієвого обміну кісток; медичні процедури – ін'єкції з введенням медикаментів; медичні маніпуляції; методи апаратної фізіотерапії; методи рухової реабілітації, мануальну терапію; методи дієтотерапії (поради та консультування з харчування); оцінку пацієнта з призначенням допоміжних технологій, протезування, ортезування, технічних засобів реабілітації.
13. Здійснює підготовку медичної документації для проведення медико-соціальної експертизи. Володіє практикою експертно-реабілітаційної діагностики, бере участь у проведенні медико-соціальної експертизи.
14. Здійснює нагляд за побічними реакціями/діями лікарських засобів.
15. Застосовує психологічну оцінку та втручання, включаючи рекомендації.
16. Надає невідкладну допомогу при гострих станах, що виникають упродовж реабілітаційних втручань.

Б 7 Роль фізичного терапевта

1. Здійснює реабілітаційні заходи з метою припинення або зменшення болю, відновлення функцій тканин, органів, систем та організму в цілому, досягнення нормального рівня здоров'я, фізичної самостійності та активності, оптимального фізичного стану та самопочуття.
2. Проводить обстеження, тестування, визначає функціональний стан та рівень фізичного розвитку, виявляє рухові та інші порушення, прогнозує можливість їх усунення.

3. Складає та виконує програми фізичної терапії, або компоненти індивідуальної програми реабілітації, які стосуються фізичної терапії.
4. Встановлює цілі фізичної терапії, розробляє і впроваджує комплекс заходів та рекомендацій, спрямованих на поліпшення діяльності опорно-рухового апарату, нервової, серцево-судинної, інших систем та організму в цілому, збільшення сили, витривалості м'язів і вдосконалення вправності рухів, відновлення або компенсацію порушених чи відсутніх функцій.
5. Застосовує фізичні вправи, масаж, мануально-м'язові та суглобові техніки, преформовані фізичні чинники.
6. Навчає самоогляду, пересуванню, самостійності у підтримці фізичного стану та здоров'я.
7. Аналізує хід виконання програми фізичної терапії, вносить необхідні корективи, веде відповідну документацію.
8. Співпрацює з лікарями фізичної та реабілітаційної медицини, ерготерапевтами, фахівцями психічного здоров'я, соціальними працівниками.
9. Надає консультації у межах своєї компетенції та визначає необхідність звертання пацієнтів/клієнтів до інших фахівців сфери охорони здоров'я.
10. Керує роботою асистентів та помічників.
11. Консультує родичів та опікунів щодо виявлених порушень та можливих шляхів їх усунення, способів досягнення максимальної незалежності і нормального рівня здоров'я, залучає їх до планування і проведення програми фізичної терапії, надає їм необхідну консультативну допомогу.
12. Застосовує методи поглибленого обстеження та тестування за вибраними напрямками клінічної діяльності; оцінює результати поглибленого обстеження та тестування; складає, виконує та коригує програму фізичної терапії при складних порушеннях; застосовує мануальні методики фізичної терапії за вибраними напрямками клінічної діяльності; використовує складне реабілітаційне обладнання.

Б 8 Роль асистента фізичного терапевта

1. За призначенням лікаря фізичної та реабілітаційної медицини

та/або фізичного терапевта здійснює реабілітаційні заходи з метою припинення або зменшення болю, відновлення функцій тканин, органів, систем та організму в цілому, досягнення нормального рівня здоров'я, фізичної самостійності та активності, оптимального фізичного стану та самопочуття.

2. Під керівництвом фізичного терапевта виконує програми фізичної терапії, або компоненти індивідуальної програми реабілітації, які стосуються фізичної терапії, спостерігає за ходом їх виконання, здійснює оперативний та поточний контроль, веде відповідну документацію.

3. Застосовує фізичні вправи, масаж, мануально-м'язові та суглобові техніки, реформовані фізичні чинники, спрямовані на поліпшення діяльності опорно-рухового апарату, нервової, серцево-судинної, інших систем та організму в цілому, рівноваги, координації, збільшення сили, витривалості м'язів і вдосконалення вправності рухів, відновлення або компенсацію порушених чи відсутніх функцій.

4. Вміє надавати першу допомогу.

5. Навчає самодогляду, пересуванню, самостійності у підтримці фізичного стану та здоров'я.

6. Співпрацює з лікарями фізичної та реабілітаційної медицини, фізичними терапевтами, ерготерапевтами, фахівцями освіти (спеціальної освіти), терапевтами мови та мовлення (логопедами), фахівцями психічного здоров'я, соціальними працівниками.

7. Залучає родичів та опікунів до проведення програми фізичної терапії, надає їм необхідну консультативну допомогу.

Б 9 Роль реабілітаційної медсестри

1. Здійснює реалізацію етапів медсестринського процесу під час проведення комплексу реабілітаційних заходів, а саме: оцінювання стану пацієнта, з'ясування дійсних, потенційних, пріоритетних та супутніх проблем.

2. Здійснює догляд за післяопераційними ранами, хірургічними дренажами, назогастральними зондами, ендотрахеальними трубками, уретраль-

ними катетерами тощо, стежить за правильністю позиціонування, здійснює профілактику пролежнів, допомагає пацієнтам у проведенні гігієнічних процедур.

3. Контролює стан дихальної, серцево-судинної, травної та сечо-видільної систем. Про усі зміни, які сталися у стані здоров'я пацієнта своєчасно інформує лікаря ФРМ.

4. Допомагає у реалізації індивідуальних програм реабілітаційних заходів, знайомить пацієнта з правилами поведінки під час проведення фізіотерапевтичних процедур, ЛФК, масажу.

5. Надає невідкладну долікарську допомогу в разі виникнення ускладнень під час реабілітаційних заходів.

6. Проводить антропометричні вимірювання й функціональні проби.

Б 10 Роль лікаря-психолога

1. Оцінює установку хворого на відновлення та участь в реабілітаційному процесі, враховуючи особливості психологічного та соціального статусу.

2. Сприяє полегшенню сприйняття та адаптації до інвалідизації, якщо її неможливо уникнути.

Частота післяопераційних ускладнень у жінок далеко не завжди залежить від тяжкості основного захворювання. Серед факторів, що сприяють виникненню ускладнень, слід виокремити абсолютно недостатню інформованість пацієнтів про причини їх розвитку і способи профілактики. Ще на доопераційному етапі необхідно заміряти обидві руки, щоб мати вихідні дані для подальшого порівняння. Важливо вчасно виявити пацієнтів з ризиком розвитку лімфостазу і почати профілактичні заходи. Неадекватне харчування, надлишкова вага тіла, малорухливість, прийом гормональних контрацептивів та низка інших причин збільшують цей ризик, тож жінки обов'язково повинні бути проінформовані про ці фактори та перші ознаки розвитку лімфатичного набряку.

Для запобігання лімфостазу та його ускладненням товариство «National Lymphedema Network» пропонує такі рекомендації:

1. Ретельний догляд за хірургічними дренажами та післяопераційною раною. Попередження формування грубого рубця.

2. Використання з 2-ї доби після операції компресійного рукава.
3. Оскільки лімфовідтік значно підвищується внаслідок скорочення м'язів, то якомога більш ранній початок фізичних вправ після мастектомії стоїть на першому місці у профілактиці лімфостазу.
4. Ретельний підбір протезу молочної залози. Важкий протез може надмірно тиснути на лімфатичні вузли вище ключиці та спричинити ризик погіршення просування лімфи лімфатичними шляхами.
5. Ретельно підібрати білизну: не тісну, із широкими, м'якими бретелями, без металічного каркасу.
6. Не ігнорувати будь-яке незначне набрякання руки, долоні, пальців або грудної клітки. Негайно звертатися до свого лікаря.
7. Ніколи не дозволяти робити ін'єкції або брати кров з ураженої руки. Тиск виміряти тільки на здоровій руці.
8. Не обрізати на пальцях руки з боку ураження кутикулу.
9. Утримувати руку в чистоті. Після миття обережно, але ретельно витирати шкіру, переконавшись, що в складках і між пальцями сухо.
10. Уникати значного перепаду температур води при купанні чи митті посуду.
11. Надягати рукавички під час прибирання квартири, миття посуду, роботи в саду, а також при виконанні будь-якої іншої роботи, що може призвести до ушкоджень, навіть незначних.
12. Уникати будь-яких травм (порізи, сонячні або інші опіки, спортивні травми, укуси комах, подряпини котом).
13. Не одягати на голе тіло шерстяні речі, так як чиста шерсть може подразнювати шкіру, сприяючи виникненню інфекції.
14. Не носити прикраси на пальцях, руці, які можуть щільно прилягати та стискати (перстні, браслети тощо).
15. Не носити сумку через плече з оперованого боку, не піднімати сумку, інші речі важчі 5-7 кг.

16. Фізичні вправи для м'язів руки, плечового поясу, загальнозміцнюючі робити впродовж 3 – 6 місяців після операції регулярно. Заняття лікувальною фізкультурою, плаванням, фітнесом тощо повинно тривати впродовж всього життя, так як лімфедема може розвинутися як в ранньому післяопераційному періоді, через 2 – 3 тижні, кілька місяців і навіть через 5 – 20 років після операції.

17. При користуванні повітряним транспортом обов'язково надягати компресійний рукав, особливо при тривалих перельотах.

18. Пацієнтки повинні бути добре обізнані з першими ознаками, що можуть свідчити про початок проявів лімфангіту чи бешихи. При появі висипів, почервоніння, свербіння, збільшення набряку, зміні кольору, посиленні болю та його іррадіації у пахвову ямку, підвищенні температури – звертатися до свого лікаря.

19. Уникати фізичних перенавантажень, надмірної втоми.

20. Підтримувати свою оптимальну вагу шляхом збалансованого харчування з низьким вмістом натрію і високим вмістом клітковини та достатньою кількістю білка, що легко засвоюється. Уникати паління та вживання алкоголю.

Професійним обов'язком лікуючого лікаря, лікаря ФРМ надати таку інформацію усім пацієнткам після мастектомії.

Таким чином, застосування системи реабілітаційних заходів дає змогу вже на ранньому етапі зменшити кількість після операційних ускладнень, нівелювати косметичні дефекти, усунути психоемоційну нестабільність і знизити фактори інвалідизації, забезпечити високу якість життя, що на сьогодні є не тільки особистісною, а й соціальною проблемою.

Список літератури

1. Мельникова Е. В., Буйлова Т. В., Бодрова Р. А. «Использование международной классификации функционирования (МКФ) в амбулаторной и стационарной медицинской реабилитации: инструкция для специалистов».

2. Шмонин А. А., Мальцева М. Н., Мельникова Е. В., Иванова Г. Е. Базовые принципы медицинской реабилитации, реабилитационный диагноз в

категориях МКФ и реабилитационный план. *Вестник восстановительной медицины*. 2017. 2 (82).С. 16-22.

3. Бас О. А., Гречин В. М. Реабілітаційне обстеження жінок з лімфотазом. *Pain Medicine Journal*. 2018. 3 (2/1).

4. Паєнок О., Передерій А.Сучасні програми реабілітації жінок, хворих на рак молочної залози. *Спортивна наука України*. 2017. 1 (77). С. 43-50.

5. Пешкова О. В. Комплексна програма фізичної реабілітації після органозберігаючих операцій і радикального лікування раку молочної залози у жінок 40-50 років у віддаленому періоді. *Слобожанський науково-спортивний вісник*. 2018. 5 (38). С. 187-191.

6. Уніфікований клінічний протокол первинної, вторинної (спеціалізованої), третинної (високоспеціалізованої) медичної допомоги «Рак молочної залози» : Наказ МОЗ України від 30.06.2015 р. № 396, розділ 4.5.

7. Грушина Т. И. Показания для проведения медицинской реабилитации ряда онкологических больных с осложнениями радикального лечения в условиях многопрофильного стационара. *Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры*. 2015. 3. С. 57-61.

8. Каменев Л. И., Борисова О. Н., Тимонина И. А.Особенности медицинской реабилитации больных с онкологической патологией. г. Тула, 2015. С. 23-32.

9. Грушина Т. И. Осложнения комплексного лечения рака молочной железы. *Актуальные аспекты клинической маммологии*. г. Москва, 2015. 423 с.

10. Грушина Т. И. Реабилитация в онкологии: физиотерапия. г. Москва, 2017. 240 с.

ДОДАТОК В

РАЦІОН ХАРЧУВАННЯ

Після перенесення хвороби ви можете помітити, що вам дещо важко ковтати. Це пов'язано з тим, що м'язи, які відповідають за ковтання, стали слабшими. Щоб одужати важливо добре харчуватися та пити достатньо води.

Основні поради для полегшення прийому їжі:

1. Під час їжі або пиття завжди сидіть рівно. Не можна їсти або пити лежачи.
2. Пробуйте вживати їжу різної консистенції (густу та рідку), щоб визначити, чи є їжа, яку легше ковтати. Спочатку можна обирати м'яку, однорідну їжу або дрібно різати тверду.
3. Не поспішайте під час їжі. Їжте маленькими шматочками, пийте невеликими окремими ковтками кожного разу після того, як поклали їжу до рота, добре пережовуйте їжу перед тим, як проковтнути.
4. Їжте невеликими порціями протягом дня, якщо вам важко з'їдати повноцінний прийом їжі за один раз. Повинно бути мінімум три прийому їжі за день.
5. Якщо ви закашлялися чи вдавилися, або якщо вам стає важко дихати під час їжі або пиття, зробіть перерву, щоб заспокоїтися.

Продукти які прискорять процес відновлення після хвороби:

Фрукти та Овочі: цитрусові, яблука, ківі, хурма, авокадо, айва, солодкий перець, морква, капуста квашена, буряк та різна зелень.

Нежирні молочні та кисломолочні продукти: сир, сметана, молоко, йогурт та кефір. Не забувайте, що курячі яйця містять білки, котрі приймають активну участь в зміцненні імунної системи.

Сухофрукти: ізюм, курага, фініки. Горіхи також будуть чудовим додатком до вашого здорового раціону.

Каші : вівсяна, гречана, рисова.

Ягоди: полуниця, смородина, обліпиха, калина та журавлина.

Риба та м'ясо, що приготовлено на пару, або відварене. Від свинини бажано відмовитись.

Усі ці продукти містять у собі вітаміни групи А та С, цинк та кальцій.

Від чого треба відмовитись на період реабілітації?

- Смажена їжа.
- Алкоголь. Він погіршує водний баланс організму, що уповільнює одужання.
- Кондитерські вироби та солодощі. Замініть їх на мед, або солодощі які призначені діабетикам.
- Кава та сильногазовані напої.
- Солоні продукти. Солена риба, консервації та інше. Така їжа також змінює водний баланс не на користь вам.
- Фаст-фуд. Він наносить шкоду і самому здоровому організму. Під час реабілітації, така їжа тільки погіршить ваш стан.

ДОДАТОК Г

ПСИХОЛОГІЧНА РЕАБІЛІТАЦІЯ ХВОРИХ НА РМЗ

За даними Міжнародної агенції з дослідження раку за 2020 рік, РМЗ є найбільш часто діагностованим онкологічним захворюванням серед жінок у світі та має найвищий рівень смертності (Globocan Cancer Statics, 2020). У країнах з високим рівнем доходу, однак, 5-річна чиста ймовірність виживання зазвичай перевищує 80% (Carreira et al., 2021).

Будь-який діагноз раку супроводжується серйозними психосоціальними проблемами для пацієнта, його родичів і суспільства. Це складна хвороба, яка викликає кризу психологічної рівноваги пацієнта та сприймається як катастрофа в очах пацієнта та його/її сім'ї, створюючи величезні фізичні та емоційні наслідки з почуттями страху, безнадійності, провини, відчаю та покинутості. На додаток до своєї хронічної та злоякісної природи, рак є важливою причиною емоційних, психічних і поведінкових реакцій. Поширеність психічних розладів у хворих на рак коливається від 29% до 47%, що у свою чергу часто порушує прихильність до лікування та негативно впливає на перебіг захворювання, збільшує тривалість госпіталізації та витрати на лікування (Hardman et al., 1989).

Рак молочної залози є найпоширенішим видом раку серед жінок, і він також завжди був найбільш дослідженим типом раку з точки зору його психічних і психосоціальних аспектів, оскільки він становить загрозу для органу, який символізує жіночність і сексуальність (Baider et al., 2003). У разі раку молочної залози початкові реакції зазвичай пов'язані з болем і смертю, а подальші реакції пов'язані з втратою грудей, яка може виникнути внаслідок хірургічного лікування. Втрата грудей, як органу, що уособлює материнство, сексуальність та естетику, здебільшого сприймається як втрата привабливості, плідності, сексуальності та жіночності в цілому (Gagnon et al., 1993; İzci et al., 2016). Крім того, хіміотерапія, променева терапія та хірургічне лікування призводять до значного погіршення якості життя та певних несприятливих фізіологічних і психічних ефектів, таких як тривога, депресія, дисморфічний розлад тіла, інфекції та блювота (İzci et al., 2016; Schmid-Büchi et al., 2008) .

Онкологічний діагноз в Україні дуже стигматизований. Довгий час більшість випадків діагностованого раку були на пізніх стадіях патологічного процесу і результат лікування був невисокої якості. Отже, коли жінка отримує діагноз “рак молочної залози” з огляду на стигму реакція психіки подібна до реакції на травматичну подію.

Г 1 Цілі та етапи психологічної реабілітації хворих РМЗ

Довгостроковий догляд та управління здоров'ям при раку молочної залози є простішими, коли пацієнтка є активним менеджером власного здоров'я. Перспективним ресурсом для формування такої позиції є телемедицина - метод надання медичних послуг за допомогою інформаційно-комунікаційних технологій (ІКТ). Ці технології дають можливість подолати проблеми мобільності пацієнта та зменшити витрати для національної системи охорони здоров'я. На сьогоднішній день телемедицина широко використовується з багатообіцяючими результатами з точки зору економічної ефективності, психічного здоров'я та когнітивних порушень (Maresca et al., 2020; Koç et al., 2022).

Діагностика та лікування психічних розладів може бути корисним для підвищення прихильності пацієнтів до терапії та якості життя (İzci et al., 2016). У цьому контексті дуже важливо вчасно діагностувати психічні проблеми та визначити фактори ризику, щоб краще зрозуміти пацієнтів, полегшити адаптацію до їхнього нового стану та спланувати правильний підхід до лікування.

Г 2 Етапи визначення впливу захворювання на психічний стан.

Г 2.1 Етап первинної діагностики психічного стану:

1. Визначення наявності емоційного розладу та встановлення рівня та глибини патологічного порушення емоційного стану:

- PHQ9 (Додаток Г1)
- GAD7 (Додаток Г2)

2. Визначення наявності зниження рівня адаптації або рівня ризику розвитку ПТСР.

- PCL5 (Додаток Г3)

3. Нейропатизація больового синдрому (особливо на 2, 3, 4 стадіях)
 - DN4 (Додаток Г4)
4. Проведення скринінгу на виявлення порушень сну (особливо на 2,3,4 стадіях)
 - пітсбурзький опитувальник визначення якості сну (PSQI) (Додаток Г5).
5. Проведення нейропсихологічного скринінгу (особливо на 2,3,4 стадіях; після лікування), визначення загального когнітивного статусу пацієнта, а також особливостей і структури порушень тих чи інших коркових функцій
 - монреальська шкала оцінки когнітивних функцій (MoCA) (Додаток Г6)

Г 2.2 Етап психоедукації для можливості формування мотивації та надання технік самодопомоги (Додаток Г7):

1. Медитативні техніки для покращення якості сну:
 - чарівна крамничка;
 - безпечне місце;
 - листя на воді.
2. Релаксаційні техніки та робота з тілом (зниження інтенсивності больового відчуття):
 - прогресивна м'язова релаксація за Джекобсоном;
 - контрольований тремор тіла;
 - дихання діафрагмальне з напруженням м'язів живота;
 - поршень або білатеральна стимуляція.
3. Дихальні та заземлення для зниження рівня стресу та зниження інтенсивності панічних атак, тривожних станів:
 - дихання за квадратом;
 - контрольований видих;
 - порційне дихання із прогресивними затримками;
 - техніка «5,4,3,2,1»;
 - 4 стихії;

- Майндфулнесс.

Г 2.3 Етап психотерапевтичного супроводу фахівцем з використанням телемедицини

Основним видом діяльності клінічного психолога в рамках телереабілітації є психологічний супровід процесу реабілітації у межах комплексної програми. Психотерапевтичний супровід реалізує такі напрями роботи:

- стабілізація емоційного стану клієнта (BASICPh);
- підвищення рівня комплаєнтності пацієнта;
- відновлення рівня соціального функціонування;
- психологічна робота з родичами/опікунами пацієнта.

Опитувальник депресії PHQ-9

УКРАЇНСЬКИЙ ІНСТИТУТ КОГНІТИВНО-ПОВЕДІНКОВОЇ ТЕРАПІЇ

www.i-cbt.org.ua



АНКЕТА ЗДОРОВ'Я ПАЦІЄНТА (PHQ-9)

ІМ'Я: _____

ДАТА: _____

Протягом останніх двох тижнів як часто вас турбували будь-які з перерахованих проблем?
(використовуйте "✓" для відповідей)

	Ніколи	Кілька днів	Більше половини часу	Майже щодня
1. Зниження інтересу чи відчуття задоволення від виконання справ				
2. Поганий настрій, відчуття пригнічення чи безнадії				
3. Труднощі з засинанням, поверхневий сон або, навпаки, надмірна сонливість				
4. Відчуття втоми або зниження енергії				
5. Поганий апетит або переїдання				
6. Негативне відчуття щодо себе — що ви невдаха або, що ви підвели себе чи свою родину				
7. Труднощі з концентрацією уваги, наприклад, під час читання газети чи перегляду телевізора				
8. Сповільненість рухів та мовлення, помітна навіть для оточуючих. Або навпаки, надмірна і непритаманна вам метушливість та активність				
9. Думки, що було б краще, якби ви померли або думки про те, щоб заподіяти собі шкоду				

додайте колонки: + +

(Спеціалістам з охорони здоров'я: Для інтерпретації ЗАГАЛЬНОЇ СУМИ, будь ласка, зверніться до супровідної карти)

загальна сума:

Якщо ви відзначили будь-які проблеми, то наскільки вони ускладнили для вас виконання вашої роботи, домашніх обов'язків, або наскільки ускладнили стосунки з людьми?	Не ускладнили взагалі	
	Дещо ускладнили	
	Дуже ускладнили	
	Надзвичайно ускладнили	



*Від'єднайте цю сторінку перед тим, як передати
анкету пацієнту*

*Лише для використання лікарями або
спеціалістами у сфері охорони здоров'я*

**Для контролю ступеню важкості депресії у нових пацієнтів
та у пацієнтів у процесі лікування:**

1. Додайте кількість «✓» у кожній колонці. За кожну ✓: Кілька днів = 1 Більше, ніж половина часу = 2 Майже щодня = 3
2. Додайте бали всіх колонок, щоб отримати ЗАГАЛЬНУ СУМУ.

PHQ-9 КАРТА ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ СТУПЕНЯ ВАЖКОСТІ

лише для використання спеціалістами у сфері охорони здоров'я

Підрахунок балів — додайте бали за шкалою PHQ-9

За кожну ✓: Ніколи = 0; Кілька днів = 1;
Більше половини днів = 2; Майже щодня = 3

Інтерпретація результатів

Загальна сума	Ступінь важкості депресії
0-4	Депресія відсутня
5-9	Депресія легкого ступеню
10-14	Депресія помірного ступеню
15-19	Депресія вираженого ступеню
20-27	Депресія важкого ступеню

Опитувальник ГТР-7 (GAD-7)

Прочитайте твердження нижче та оцініть, як часто протягом останніх двох тижнів вас турбували будь-які з перерахованих нижче проблем?

1. Ви нервували, відчували тривогу або були дуже напружені

- (0) Ніколи
- (1) Кілька днів
- (2) Більше половини часу
- (3) Майже щодня

2. Ви не могли зупинити або контролювати своє хвилювання

- (0) Ніколи
- (1) Кілька днів
- (2) Більше половини часу
- (3) Майже щодня

3. Ви занадто хвилювались через різні речі

- (0) Ніколи
- (1) Кілька днів
- (2) Більше половини часу
- (3) Майже щодня

4. Вам було важко розслабитись

- (0) Ніколи
- (1) Кілька днів
- (2) Більше половини часу
- (3) Майже щодня

5. Ви були настільки неспокійні, що Вам було важко всидіти на одному місці

- (0) Ніколи
- (1) Кілька днів
- (2) Більше половини часу
- (3) Майже щодня

6. Вам було легко дошкулити або роздратувати

- (0) Ніколи
- (1) Кілька днів
- (2) Більше половини часу
- (3) Майже щодня

7. Ви відчували страх, неначе щось жахливе може статися

- (0) Ніколи
- (1) Кілька днів
- (2) Більше половини часу
- (3) Майже щодня

Підрахунок результатів

Кожна відповідь має свою кількість балів:

Ніколи – 0 балів

Кілька днів – 1 бал

Більше половини часу – 2 бали

Майже щодня – 3 бали

Вам необхідно отримати суму балів за усіма відповідями.

Що показує ваша сума балів?

0-4 б – ймовірно що труднощі з тривогою відсутні.

5-9 б – можливі труднощі з тривогою помірного ступеня.

10-14 – можливі труднощі з тривогою вираженого ступеня.

15-21 – можливі труднощі з тривогою важкого ступеня.

Важливо розуміти, що цей тест є доволі корисним для моніторингу симптомів некорисної тривоги, однак він не призначений для постановки діагнозу.

Якщо ви отримали понад 5 балів або ж вас турбують окремі прояви, з зазначених вище, у сильній формі, рекомендуємо вам звернутися до психолога, психотерапевта або ж лікаря.

Опитувальник DN4 – Співбесіда з пацієнтом

Чи відповідає біль, яку ви відчуваєте, одному або декільком з наступних визначень?

	Так	Ні
1. Відчуття печії	☐	☐
2. Болісне відчуття холоду	☐	☐
3. Відчуття як від удару струмом	☐	☐

Чи супроводжується біль одним або декількома з наступних симптомів в області її локалізації

	Так	Ні
4. Пощипуванням, відчуттям повзання мурашок	☐	☐
5. Поколюванням	☐	☐
6. Онімінням	☐	☐
7. Свербінням	☐	☐

ОГЛЯД ПАЦІЄНТА

Чи локалізований біль в тій же області, де один або обидва наступних симптоми:

	Так	Ні
8. Знижена чутливість до дотиків	☐	☐
9. Знижена чутливість до поколювань	☐	☐

Можете викликати або посилити біль:

	Так	Ні
10. Якщо провести пензликом?	☐	☐

Пітсбурзький опитувальник визначення якості сну (PSQI)

1. В який час Ви зазвичай лягали спати протягом останнього місяця?
2. Скільки часу Вам зазвичай потрібно, щоб заснути? (протягом останнього місяця)
3. В який час Ви зазвичай прокидалися протягом останнього місяця? (час підйому)
4. Як часто за останній місяць у Вас були проблеми зі сном?
 - жодного разу
 - менше, ніж раз на тиждень
 - один два рази на тиждень
 - три та більше разів на тиждень
5. Як би Ви охарактеризували якість свого сну за останній місяць?
 - дуже висока
 - досить висока
 - швидше низька
 - дуже низька
6. За минулі місяці як часто Ви приймали ліки, які допомагають заснути?
 - жодного разу
 - менше, ніж раз на тиждень
 - один-два рази на тиждень
 - три та більше разів на тиждень
7. Як часто за минулий місяць Вам було складно “не спати” під час керування автомобілем, в період прийому їжі або в процесі соц. діяльності?
 - жодного разу за останній місяць
 - менше, ніж раз на тиждень
 - один-два рази на тиждень
 - три та більше разів на тиждень
8. За минулий місяць наскільки складно було Вам зберігати достатній настрій для того, щоб зробити всі справи?

- зовсім не складно
- лише трохи відчувала складність
- в деякій мірі складно
- дуже складно
- інше

9. Як часто за минулий місяць у Вас були прояви неспокою під час сну?

- жодного разу за останній місяць
- менше, ніж раз на тиждень
- один-два рази на тиждень
- три та більше разів на тиждень

Підрахунок балів. Опитувальник PSQI призначений для вимірювання 7 компонентів, які називаються компонентними показниками: суб'єктивна якість сну, латентність сну, тривалість сну, ефективність сну, порушення сну, виживання сновидінь та денна дисфункція. Оцінки компонентів варіюються від 0 (без утруднень) до 3 (важкі ускладнення) і в підсумку дають загальну оцінку в діапазоні від 0 до 21. Загальний бал > 5 вказує на незадовільну якість сну, бал ≤ 5 вказує на хорошу якість сну.

Методики та опитувальники

1. Медитативні техніки для покращення якості сну:

- чарівна крамничка
- безпечне місце
- листя на воді

«Чарівна крамничка»

Техніка спрямована на релаксацію та відновлення зв'язного логічного мислення, стимулює бажання планувати щось на майбутнє, стабілізацію емоційного стану. За допомогою цієї техніки можна відновити і покращити якість сну.

Інструкція виконання:

1. Попросіть свого пацієнта прийняти зручне положення тіла, попередьте, що техніка виконується за допомогою уяви.

2. Попросіть уявити подорож, потрібно обрати місто (реальне чи фантастичне), уявіть, що Ви прогулюєтесь містом і раптом бачите лавку, магазинчик (уявіть екстер'єр та інтер'єр). Лавка наповнена самими різними, але обов'язково магічними речами. Далі попросіть пацієнта відповісти на наступні запитання та проаналізувати відповіді.

3. Техніку можна зробити перший раз з фахівцем психологом у форматі онлайн (телемедицина), щоб навчитись бачити символічність і знизити стигматичне ставлення до технік, які засновані на використанні уяви.

— ВИ ПОДОРОЖУЄТЕ НЕЗНАЙОМИМ МІСТОМ ТА ЗАХОДИТЕ В ЯКІЙСЬ МАГАЗИН. ЯКИЙ?

— ЧОМУ САМЕ ТУДИ?

— ЦЕ ТРОХИ МАГІЧНА РЕАЛЬНІСТЬ... І ТАМ ПРОДАЮТЬ ЧАРІВНІ РЕЧІ...

— ЯКУ РІЧ ВИ ПРИДБАЛИ?

— ЯКІ В НЕЇ МАГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ?

— ЦЯ РІЧ МОЖЕ ЗАЛИШИТЬСЯ З ВАМИ І ДО НЕЇ МОЖНА ЗВЕРТАТИСЬ, КОЛИ БУДЕ ТРЕБА)))

«Безпечне місце»

Я запропоную Вам зараз зробити вправу на почуття себе у спокої та безпеці. Закрийте очі та зосередьтеся на своєму диханні. Помітьте, як повітря входить у вас в легені і виходить з них, сприймаючи кожен вдих і видих.

Пошукайте внутрішньо таке місце, у якому Ви можете почувати себе спокійно і добре. Нехай у Вашій уяві виникнуть образи про таке місце. Може бути, що це місце недалеко, а можливо, воно на іншому кінці земної кулі. Це може бути будь-яке місце, реальне або уявне, де ви відчуваєте себе захищеною і розслабленою. У Вашому розпорядженні є всі можливі засоби та ресурси для пошуку та облаштування цього безпечного спокійного місця.

Уявіть деталі цього місця: його аромати... звуки..., текстури..., кольори.... Дозвольте уяві та пам'яті створити або пригадати кожну деталь якомога яскравіше, занурюючись у світ вашого "Безпечного місця". Зверніть увагу на те, що Ви чуєте там, які там є звуки або, можливо, приємний запах... яке освітлення..., як падають тіні...

Відчуйте, як це місце наповнює вас спокоєм та заспокоєнням... Дозвольте собі повністю розслабитися в цьому місці... відчуваючи, як вся напруга поступово розсіюється...

Ви можете завжди, коли Вам цього захочеться прийти у це місце... можна придумати собі знак, нагадування, за допомогою якого Ви у будь-який час зможете швидко повернутися у це чудове спокійне місце... Подякуйте собі за час, який Ви відвели на цю вправу... Ви завжди можете повертатися до свого "Безпечного місця", якщо відчуєте в тому потребу.

Поступово поверніться до свідомості, відкривши очі, і занотуйте будь-які враження або відчуття, які виникли під час вправи.

«Листя на воді»

Дана техніка для стабілізації та роботи з думками, які наприклад, заважають засинати, чи викликають надмірну тривогу.

Ця практика добре підходить для ситуації, коли у Вас є можливість бути наодинці із собою 10- 15 хвилин і Ви відчуваєте, що тривожні чи негативні

думки, невпевненість у собі чи майбутньому та може навіть страхи підступно пробираються у Вашу свідомість. Пам'ятайте, що у таких практиках немає «правильного чи неправильного виконання».

Також пам'ятайте, якщо при виконанні вправи у Вас зростає рівень тривожності, Вам дискомфортно Ви завжди можете припинити виконання вправи. Зробити декілька вдихів і видихів в довільному форматі і спробувати ще раз.

Сядьте зручно, якщо Вам комфортно та безпечно закрийте очі або зафіксуйте погляд на нерухомому об'єкті. Уявіть, що ви сидите на березі тихого струмка, а там листя пропливає повз на поверхні потоку. Уявіть собі як завгодно — це ваша уява. (пауза 10 секунд.)

Тепер, протягом наступних кількох хвилин, звертайте увагу на кожну свою думку, коли вона з'являється у вас в голові ... потім помістіть її на листок і дозвольте їй прийти, побути й піти.

Не намагайтеся змусити листок спливати, просто зверніть увагу на те, що із ним відбувається ... Листок може знести потоком дуже швидко, або дуже повільно, або він може коливатись на хвилях деякий час, наче зависнути...

Робіть це незалежно від цього чи є думки позитивними чи негативними, приємними чи болючими... навіть якщо це найчудовіші думки, помістіть їх на листок... і дозвольте їм це зробити : прийти, побути і піти, у свій зручний час ... вони можуть спливати, швидко пропливати, або повільно, або вони можуть бовтатися... просто помічайте, що відбувається, не намагаючись змінювати щось. (пауза 10 секунд.)

Якщо ваші думки зупинилися, просто подивіться на потік. Рано чи пізно ваші думки будуть з'являтися знову. (пауза 20 секунд.)

Дозвольте струмку бігти зі своєю швидкістю. Не прискорюйте це. Ви не намагаєтесь змити листя – ви дозволяєте їм з'являтися і йти як їм виходить. (пауза 20 секунд.)

Якщо ваш розум говорить: «Це глупо або я не можу цього зробити», розмістіть і ці думки на листочку (пауза 20 секунд).

Якщо листочок застряг, бовтається на одному місці – дайте йому пови-
снутися. Не змушуйте його спливати. (пауза 20 секунд.)

2. Релаксацийні техніки та робота з тілом (зниження інтенсивності больового відчуття):

- прогресивна м'язова релаксація за Джекобсоном;
- контрольований тремор тіла;
- дихання діафрагмальне з напруженням м'язів живота;
- поршень або білатеральна стимуляція.

Прогресивна м'язова релаксація за Джекобсоном

Ця вправа допоможе вам зняти напругу та стрес, а також покращить ваше загальне самопочуття. Пам'ятайте, що ви можете використовувати цей метод в будь-який час, коли вам потрібно трохи відпочити та розслабитися.

1. Сядьте чи ляжте зручно. Зачиніть очі і трохи розслабтеся.
2. Почніть уважно слухати своє дихання. Почуйте, як повітря входить у вас в легені через ніс, а потім виходить з рота.
3. Почніть концентруватися на різних м'язових групах вашого тіла. Наприклад, почніть з м'язів обличчя. Напружте їх на декілька секунд, а потім раптово розслабте. Відчуйте, як напруга повільно зникає, і ви відчуваєте, як ваше обличчя починає відчуватися більш розслабленим.
4. Перемістіть увагу до м'язів шиї і плечей. Напружте їх, якщо це можливо, а потім раптово розслабте. Уявіть, що вся напруга зникає, і ваші плечі опускаються вниз, відчувається легкість і спокій.
5. Продовжуйте цей процес, переміщаючи увагу по всьому тілу. Напружте і розслабте м'язи ніг, спини, живота і так далі. Відчуйте, як кожна частина вашого тіла стає все більш розслабленою і важкою.
6. Продовжуйте дихати рівномірно і глибоко під час виконання цієї вправи. При кожному видиху уявляйте, як вся напруга покидає ваше тіло, і ви стаєте ще більш розслабленими і спокійними.
7. Повторюйте цей процес протягом 10-15 хвилин або до тих пір, поки ви не почувєте себе повністю розслабленими і спокійними.

Техніка контрольованого тремору

Дана техніка спрямована на релаксацію та зниження рівня тривоги, стресу, є допоміжною методикою в процесі психотерапії ПТСР, ГСР (гострої реакції на стрес)

Для проведення цієї методики потрібно прийняти положення лежачи, бажано на підлозі, щоб тіло було розрівняне, прийняло максимально фізіологічне положення. (Можна взяти каримат). Після цього пацієнт має зробити глибокий вдих через ніс і потім видих через рот. Наступним кроком є хаотичний, штучно створений тремор кінцівок і дихання під час цього. Починати варто з повільних треморних рухів (трясти руками і ногами), і поступово тремор має наростати до максимально комфортної амплітуди для виконавця.

Потім поступово пацієнт знижує частоту та амплітуду треморних рухів, але продовжує дихати за інструкцією. Тривалість процедури від 10 до 30 хв.

Дихання діафрагмальне з напруженням м'язів живота

1. Сідайте або лягайте у зручне положення, де ваша спина буде прямою і підтримуватиме ваше тіло.
2. Покладіть одну руку на груди, а іншу на живіт, біля пупка.
3. Почніть повільно і глибоко дихати через ніс. При цьому намагайтеся відчувати, як повітря наповнює ваші легені і розширює вашу грудну клітку.
4. Під час вдиху уявляйте, що ваш живіт наповнюється повітрям, і ви відчуваєте, як він піднімається вгору. Рука, яка лежить на животі, повинна підніматися вгору разом з вашим животом.
5. Під час видиху повільно випускайте повітря через рот. Уявляйте, що ваш живіт опускається донизу, а рука, яка лежить на ньому, опускається разом з ним.
6. Продовжуйте цей процес протягом кількох хвилин, намагаючись зосередитися лише на вашому диханні і відчуттях у вашому тілі.
7. Повторюйте вправу декілька разів на день, особливо в ситуаціях стресу або напруженості.

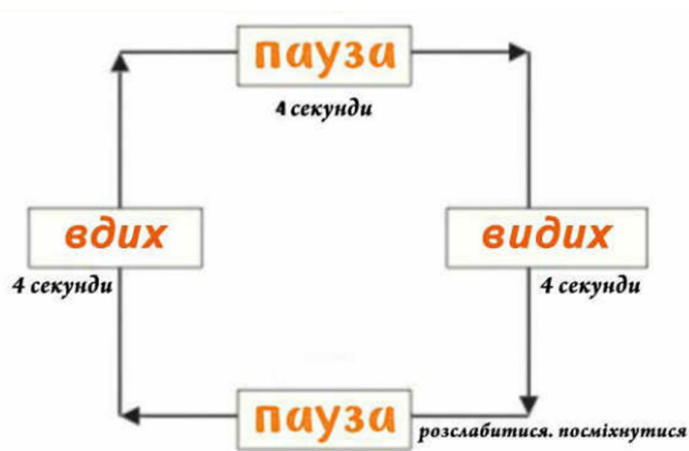
3. Дихання та заземлення для зниження рівня стресу та зниження інтенсивності панічних атак, тривожних станів:

- дихання за квадратом;
- порційне дихання із прогресивними затримками;
- техніка «5, 4, 3, 2, 1»;
- 4 стихії;
- Майндфулнесс.

Техніка «Квадратне дихання» для відновлення емоційної рівноваги та стабілізації

Дана техніка має ефект заспокоєння та стабілізації емоційного стану, коли є відчуття паніки, симптоми розвитку панічної атаки, хвилювання чи неможливість сконцентруватися. Також дихання, відповідно інструкції цієї техніки, нормалізує серцебиття.

1. Потрібно прийняти положення сидячи, або лежачи.
2. Першочергово зробити зусилля і видихнути, після чого через ніс вдихнути.
3. Зробити паузу на комфортній глибині вдиху на 5-10 секунд.
4. Після затримки, яка тривала комфортний час, потрібно голосно видихнути через рот.
5. Після видиху знов стадія комфортної паузи і далі вдих через ніс на комфортну глибину.
6. Подібних циклів потрібно зробити 10-15 разів.



Техніка порційного дихання із прогресивними затримками

Дана техніка має ефект заспокоєння та стабілізації емоційного стану, коли є відчуття паніки, симптоми розвитку панічної атаки, хвилювання чи неможливість сконцентруватися. Також дихання, відповідно інструкції цієї техніки, нормалізує серцебиття.

Інструкція:

1. Попросіть пацієнта видихнути максимально, до відчуття «пустих» легень.
2. Наступним має бути вдих через ніс на максимальний об'єм легень і без затримки довгий видих (попросіть проконтролювати довжину видиху).
3. Наступним кроком попросіть зробити вдих на комфортну глибину.
4. Видих робиться одразу після вдиху, але попросіть видихати із трьома затримками і тримати паузу 5 секунд або більше.
5. Повторити п. 3 і 4 декілька разів.
6. Після чого знов зробити вдих через ніс комфортної глибини, затримати дихання на 10 секунд і видихнути після паузи через рот.
7. Повторити п.№6 декілька разів.

Дана техніка значно знижує ризик виникнення гіпервентиляції, дозволяє збалансувати дихання та уповільнює процес наростання симптомів при панічній атаці, гострій реакції на стрес, може виступати як техніка перед засинанням.

Техніка заземлення «5, 4, 3, 2, 1»:

Дана техніка є дієвий і корисний інструмент в разі відчуття тривоги, панічного нападу, втрати орієнтації в просторі через потрясіння.

Якщо ви відчули, що ноги і руки ватяні, що серцебиття стукає у вухах і дихати важко, але больових відчуттів не має. Коли важко контролювати свій стан, в цей момент потрібно розуміти, що це є нормальна реакція на стресові події і зараз ви самі можете собі допомогти.

1. Дайте собі завдання подивитися навколо і знайти 5 предметів різної геометричної форми і перерахуйте їх подумки або в голос.

Наприклад : круглий годинник, прямокутний телефон, прямокутне вікно, квадратний монітор, квадратний білборд, трикутний дорожній знак тощо).

2. Відчуйте 4 речі, які ви відчуваєте шкірою свого тіла, речі які Вас торкаються.

Наприклад: дотик взуття до стоп, дотик штанів до сідниць чи стегон, дотик ремінця сумки, дотик телефона в руках, браслету годинника на зап'ясті, навушника до вуха, ланцюжка на шії.

3. Три запахи чи шуми які вас оточують в даний момент.

Наприклад: запах кондитерської, запах людей навколо, запах смітника поруч, запах вихлопних газів або шум за вікном, шум вулиці, голос перехожого, звук гальмів чи мотору авто...

4. Зосередьтесь на двох улюблених смаках чи смаках які Вам хочеться спробувати. Можливо тих смаків які Вам хочеться згадати.

Наприклад : кисло-солодкі яблука з дитинства, зелені абрикоси із двору, пиріг солодкий, присмак солоної рибки чи ковбаски... будь-що, що змусить ваші мовні рецептори увімкнути свою пам'ять .

5. Ми дійшли до цифри один, найменшої, але найважливішої. Знайдіть і усвідомте одну якість свого характеру за яку Вас побратими поважають, або люблять друзі, якість яка Вам і оточуючим подобається саме у Вашому характері!!!

6. Після знаходження всіх « завдань» Ви заспокоєтесь, зможете відчувати контроль над ситуацією, зможете продовжувати те, що робили в момент нападу, тривоги...

Даний інструмент самопомоги дозволяє Вашому мозку реорганізовуватися і сприймати стресові ситуації як задачі для вирішення.

Вправа «4 стихії»

Перед початком оцініть рівень свого стресу за шкалою від 1 до 10.

Зручно сядьте на стілець, випряміть спину та покладіть руки на коліна.

Земля

Поставте ноги на підлогу та відчуйте, як міцно ваші стопи стоять на землі (підлозі). Зверніть увагу на положення тіла, особливо ніг та спини. Можна по черзі напружувати усі м'язи, щоб потім відчувати їх розслаблення. Дозвольте собі насолодитися відчуттям стійкості, сили та опори, яке виникає від контакту з підлогою.

Вода

Сконцентруйте увагу на слині у роті. Можна уявити улюблений смаколик або шматочок соковитого лимона та відчувати, як рот наповнюється слиною. Коли людина перебуває у паніці, у неї пересихає у роті. Можна випити склянку води повільними маленькими ковтками. Таких ковтків має бути не менше 30. Сухість у роті є однією з ознак стресу. Коли вона зникає, то мозок отримує сигнал, що все гаразд. Виділення слини, зволожена слизова оболонка ротової порожнини допомагає розслабитися.

Повітря

Зробіть 4 глибоких та повільних вдихи через ніс та більш повільні, тривалі видихи через рот. Відчуйте, як повітря наповнює живіт та переміщується у груди. Видихайте, намагаючись видихнути усе повітря з легень. Концентруйте свою увагу на диханні. Можна покласти одну руку на живіт, іншу - на груди, щоб відчувати, як вони по черзі підіймаються та опускаються. Зробіть 4-6 циклів за схемою: глибокий вдих впродовж 4 секунд... на 3 секунди затримайте дихання... видих на рахунок 6... знов вдих на рахунок 4... і знов на 3 секунди затримайте дихання. Під час паніки дихання часто збивається, стає поверхневим, прискорюється, тому глибокі та повільні вдихи/видихи допомагають повернути рівновагу та заспокоїтися.

Вогонь

Це про сприйняття очима. Знайдіть навколо вас та назвіть кілька предметів, наприклад, синього кольору. При перемиканні уваги на опис предметів, мозок перестає зосереджуватися на стресі. Або скористайтесь вашою уявою. Уявіть або згадайте місце, людину або заняття, яке наповнить вас відчуттям душевного тепла та впевненості. Після завершення знову оцініть свій рівень стресу

за шкалою від 1 до 10. Стан покращується, тривога знижується, відчувається полегшення в тілі та прояснення в голові.

Список літератури

1. Baider L., Andritsch E., Uziely B., Ever-Hadani P., Goldzweig G., Hofmann G., Samonigg H. Do different cultural settings affect the psychological distress of women with breast cancer? A randomized study. *Eur J Cancer Care*. 2003. 12. P. 263-273.
2. Carreira H., Williams R., Funston G. et al. Associations between breast cancer survivorship and adverse mental.
3. Health outcomes: a matched population-based cohort study in the United Kingdom. *PLoS Med*. 2021. 18: e1003504.
4. Globocan Cancer Statics. 2020. URL: <https://gco.iarc.fr/today/data/fact-sheets/cancers/20-Breast-fact-sheet.pdf>. (Accessed 01 March 2021).
5. Gagnon P., Massie M. J., Holland J. C. The woman with breast cancer: Psychosocial considerations. *Cancer Bulletin*. 1993. 45. P. 538-542.
6. Hardman A., Maguire P., Crowther D. The recognition of psychiatric morbidity on a medical oncology ward. *J. Psycosom Res*. 1989. 33. P. 235-239.
7. İzci F., İlgün A.S., Fındıklı E., Özmen V. Psychiatric Symptoms and Psychosocial Problems in Patients with Breast Cancer. *J. Breast Health*. 2016 Jul 1. 12 (3). P. 94-101. DOI: 10.5152/tjbh.2016.3041.
8. Koç Z.; Kaplan E.; Tanrıverdi D. The effectiveness of telehealth programs on the mental health of women with breast cancer: A systematic review. *J. Telemed. Telecare*. 2022.
9. Maresca G., Maggio M. G., De Luca R., Manuli A., Tonin P., Pignolo L., Calabrò R. S. Tele-Neuro-Rehabilitation in Italy: State of the Art and Future Perspectives. *Front. Neurol*. 2020, 11.
10. Schmid-Büchi S., Halfens R. J., Dassen T., van den Borne B. A review of psychosocial needs of breast-cancer patients and their relatives. *Journal of Clinical Nursing*. 2008. 17. 2895-2909.

Посилання на відеоролики

Опис	Посилання
Аптечка самодопомоги. Вправа 1 «Таємний тапінг»	https://youtu.be/vCvDWu6qHKQ?si=QlvtIJA2A5yoGr2t
Аптечка самодопомоги. Вправа 2 «Безпечне місце»	https://youtu.be/szQczPf_BwI?si=aREKFpbwOvPowxx5
Аптечка самодопомоги. Вправа 3 «Метелик»	https://youtu.be/cluSvy9qLJw?si=stOyMtlnK5dS7P_V
Аптечка самодопомоги. Вправа 4 «Протитривожне дихання»	https://youtu.be/Ehs96CstjDE?si=rQbrY7OSHBzHeHx6
Аптечка самодопомоги. Вправа 5 «Дихання-квадрат у кроках»	https://youtu.be/ReGRNR5nEtg?si=bNu4M0cNbroFwwix
Аптечка самодопомоги. Вправа 6 «Великий довгий тапінг EFT»	https://youtu.be/dIOY7pfrNM4?si=TGn4vzj5T6kmnVQ8
Аптечка самодопомоги. Вправа 7 «Сейф»	https://youtu.be/LRIa0ec8PJo?si=NOL36rKD60z1tY9r
Аптечка самодопомоги. Вправа 8 «Прогресивна м'язова релаксація»	https://youtu.be/HKPZituuc7w?si=M2fhZxmiOHVQWJRz
Аптечка самодопомоги. Вправа 9 «Сканування тіла»	https://youtu.be/-xilb-mOsLU?si=-FdEr_-Ora7HPUcd
Аптечка самодопомоги. Вправа 10 «Mindfulness»	https://youtu.be/XVX_d8gve6A?si=sZd9jIsN7nJPZ-nr
Комплекс вправ після операції на молочній залозі (1-3 тижень)	https://youtu.be/2lnGnnGLShs
Комплекс вправ після операції на молочній залозі (3-6 тижень)	https://youtu.be/vDYDCQscAKk
Відеоролики про те, як перемогти стрес. ГО «Безбар'єрність»	https://youtube.com/playlist?list=PLwL4PWi8_YrfLVSK3sTBEciLVqXR70nLr&si=YarrMWuWGhgJvCqu
Управління стресом ГО «Безбар'єрність»	https://youtube.com/playlist?list=PLwL4PWi8_YrdHYV5ECHoyet4iDQT0DjT5&si=mwpmde6YDrFY4TCv
«Ти як?» Анімаційні відеоролики ГО «Безбар'єрність»	https://youtube.com/playlist?list=PLwL4PWi8_YrcStHKFL77RGQOun_avQG-x&si=6wR_wf_HDhkTqdLj
«Скажи чесно, ти як?» Техніки самодопомоги від українських зірок ГО «Безбар'єрність»	https://youtube.com/playlist?list=PLwL4PWi8_YrdqCnTbYX4TQUumbpRCqtc2&si=oUfOL1UVCojgyLWE

Наукове видання

Палагін Олександр Васильович, Стецюк Петро Іванович,
Сергієнко Іван Васильович, Владимиров Олександр Аркадійович,
Вакуленко Дмитро Вікторович, Будник Микола Миколайович,
Малахов Кирило Сергійович, Семикопна Тетяна Вікторівна,
Симонов Денис Ігоревич, Сивак Оксана Василівна

Хмарна платформа пацієнт-центричної телереабілітації онкологічних хворих на основі
математичного моделювання

Колективна монографія

За редакцією Олександра Васильовича Палагіна,
Стецюка Петра Івановича

Підписано до друку 21.03.2017. Друк офсетний. Папір офсетний.
Формат 60х90/16. Ум. друк. арк. 23,75. Зам. № .157 від 11.09.2024 р.

Видавець і виготовлювач: ФОП Лопатіна О. О.

www.publishpro.com.ua

тел.: +38 044 501 36 70

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи

ДК № 5317 від 03.04.2017