

Міністерство освіти і науки України  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії  
(повна назва факультету)

Кафедра комп'ютерних наук  
(повна назва кафедри)

# КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Засоби аналітичного опрацювання в системах формування  
рекомендацій щодо соціального дистанціювання в умовах пандемії

Виконав: студент VI курсу, групи САМ-61  
спеціальності 124 Системний аналіз  
(шифр і назва спеціальності)

(підпис)

Кормило І.М.

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Пасічник В.В.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Мацюк О.В.

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

Боднарчук І.О.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

Микитишин А.Г.

(прізвище та ініціали)

Тернопіль  
2021

Міністерство освіти і науки України  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії  
(повна назва факультету)

Кафедра комп'ютерних наук  
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Боднарчук І.О.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

«\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2021 р.

## ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня \_\_\_\_\_ Магістр  
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю \_\_\_\_\_ 124 Системний аналіз  
(шифр і назва спеціальності)

Студенту \_\_\_\_\_ Кормило Івану Михайловичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Засоби аналітичного опрацювання в системах формування рекомендацій щодо соціального дистанціювання в умовах пандемії

Керівник роботи \_\_\_\_\_ Пасічник Володимир Володимирович, д.т.н., професор кафедри КН  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 28 » жовтня 2021 року № 4/7-911

2. Термін подання студентом завершеної роботи \_\_\_\_\_ 22 грудня 2021р.

3. Вихідні дані до роботи \_\_\_\_\_ Наукові публікації про методи та засоби аналітичного опрацювання даних та пандемію.

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ. 1 Пандемія та варіанти запровадження політики соціального дистанціювання.

2 Інструменти, дані та моделі формування рекомендацій щодо соціального дистанціювання в умовах пандемії. 3 Прийняття рішень про запровадження та зняття заходів соціального дистанціювання. 4 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. Висновки. Додатки

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

1 Титульна сторінка. 2 Тема, Мета, Об'єкт, Предмет дослідження. 3 Завдання дослідження.

4 Актуальність дослідження. 5 Критерії та параметри тривалості соціального дистанціювання. 6 Структура процесу підтримки прийняття рішень щодо запровадження заходів соціального дистанціювання громадян. 7 Дані для підтримки прийняття рішень.

8 Кількість випадків інфікування. 9 Репродуктивний коефіцієнт. 10 Модель перебігу COVID-19 при госпіталізації. 11 Змодельована динаміка поширення інфекції. 12 Загальна величина піку зараження та час піку з різними сценаріями соціального дистанціювання. 13 Результати моделювання стратегії повторного відкриття. 14 Результати моделювання стратегії повторного відкриття з тривалістю першої фази впродовж восьми тижнів та другої фази впродовж восьми тижнів. 15 Результати моделювання стратегії повторного відкриття з тривалістю першої фази впродовж шістнадцяти тижнів та другої фази впродовж шістнадцяти тижнів. 16 Висновки. 17 Завершальний слайд.

## 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Приймак М.В., професор		
Безпека в надзвичайних ситуаціях	Клепчик В.М., проректор з адміністративно-господарської роботи та будівництва		

7. Дата видачі завдання 27 вересня 2021 р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	Ознайомлення з завданням до кваліфікаційної роботи	27.09.2020-29.09.2020	Виконано
2.	Підбір наукових джерел про засоби аналітичного опрацювання, формування рекомендацій щодо соціального дистанціювання та пандемію.	30.09.2020-03.10.2020	Виконано
3.	Переклад та опрацювання наукових джерел про засоби аналітичного опрацювання, формування рекомендацій щодо.	04.10.2020-10.10.2020	Виконано
4.	Виконання дослідження засобів аналітичного опрацювання в системах формування рекомендацій щодо соціального дистанціювання в умовах пандемії.	11.10.2020-17.10.2021	Виконано
5.	Оформлення розділу «Пандемія та варіанти запровадження політики соціального дистанціювання».	18.10.2021-24.10.2021	Виконано
6.	Оформлення розділу «Інструменти, дані та моделі формування рекомендацій щодо соціального дистанціювання в умовах пандемії».	25.10.2021-31.10.2021	Виконано
7.	Оформлення розділу «Прийняття рішень про запровадження та зняття заходів соціального дистанціювання»	01.11.2021-07.11.2021	Виконано
8.	Виконання завдання до підрозділу «Охорона праці»	08.11.2021-11.11.2021	Виконано
9.	Виконання завдання до підрозділу «Безпека в надзвичайних ситуаціях»	12.11.201-14.11.2021	Виконано
10.	Оформлення кваліфікаційної роботи	15.11.201-24.11.2021	Виконано
11.	Нормоконтроль	25.11.2021-28.11.2021	Виконано
12.	Перевірка на плагіат	01.12.2021	Виконано
13.	Попередній захист кваліфікаційної роботи	07.12.2021	Виконано
14.	Захист кваліфікаційної роботи	22.12.2021	

Студент

(підпис)

Кормило І.М.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Пасічник В.В.

(прізвище та ініціали)

## АНОТАЦІЯ

Засоби аналітичного опрацювання в системах формування рекомендацій щодо соціального дистанціювання в умовах пандемії // Кваліфікаційна робота освітнього рівня «Магістр» // Кормило Іван Михайлович // Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії, кафедра комп'ютерних наук, група САМ-61 // Тернопіль, 2021 // С. 67, рис. – 25, табл. – 7, кресл. – 17, додат. – 1, бібліогр. – 45.

Ключові слова: COVID-19, аналіз, модель, оцінка, рішення, репродуктивність, соціальне дистанціювання.

Кваліфікаційна робота присв'ячена дослідженню методів аналітичного опрацювання для потреб систем формування рекомендацій щодо соціального дистанціювання в умовах пандемії. В першому розділі кваліфікаційної роботи описано пандемію та важливість заходів соціального дистанціювання громадян. Подано огляд та аналіз наукових літературних джерел. Досліджено варіанти запровадження політики соціального дистанціювання.

В другому розділі кваліфікаційної роботи виконано проектування інструментів аналізу рішень. Описано дані, що використані для підтримки прийняття рішень в умовах пандемії. Подано опис моделі поширення інфекційних захворювань в умовах пандемії. Досліджено моделювання процесів прийняття рішень щодо запровадження соціального дистанціювання громадян в умовах пандемії. Проведено аналіз змодельованих сценаріїв розвитку пандемії.

В третьому розділі кваліфікаційної роботи описано особливості моделювання процесів прийняття рішень про запровадження та зняття заходів соціального дистанціювання.

## ANNOTATION

Analytical processing means in recommendation systems for social distancing in a pandemic // Qualification work of the educational level «Master» // Kormylo Ivan // Ternopil Ivan Pulyuy National Technical University, Faculty of Computer Information Systems and Software Engineering, Department of Computer Science, SAm-61 group // Ternopil, 2021 // P. 67, fig. - 25, tables - 7, chair. - 17, annexes - 1, references. - 45.

Key words: COVID-19, analysis, model, evaluation, decision, reproduction, social distancing.

The qualification work is devoted to the study of methods of analytical development for the needs of systems for the formation of recommendations for social distancing in a pandemic. The first section of the qualification work describes the pandemic and the importance of measures of social distancing of citizens. A review and analysis of scientific literature sources is given. Options for implementing a policy of social distancing have been studied.

In the second section of the qualification work the design of decision analysis tools is performed. Describes data used to support pandemic decision-making. A description of the model of the spread of infectious diseases in a pandemic. The modeling of decision-making processes on the introduction of social distancing of citizens in a pandemic is studied. The analysis of the simulated scenarios of pandemic development is carried out.

The third section of the qualification work describes the features of modeling decision-making processes on the introduction and removal of social distancing measures.

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

ВООЗ – Всесвітня організація охорони здоров'я.

ГРВІ – Гостра респіраторна вірусна інфекція.

FNIR (англ. False Negative Identification Rate) – коефіцієнт помилково-негативної ідентифікації.

FPIR (англ. False Positive Identification Rate) – коефіцієнт помилково-позитивної ідентифікації.

MERS (англ. Middle East Respiratory Syndrome) – Близькосхідний респіраторний синдром.

SARS (англ. Severe Acute Respiratory Syndrome) – Тяжкий гострий респіраторний синдром.

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	7
1 ПАНДЕМІЯ ТА ВАРІАНТИ ЗАПРОВАДЖЕННЯ ПОЛІТИКИ СОЦІАЛЬНОГО ДИСТАНЦІЮВАННЯ.....	9
1.1 Пандемія та важливість заходів соціального дистанціювання громадян .....	9
1.2 Огляд та аналіз наукових літературних джерел.....	12
1.3 Варіанти запровадження політики соціального дистанціювання .....	16
1.4 Висновок до першого розділу .....	18
2 ІНСТРУМЕНТИ, ДАНІ ТА МОДЕЛІ ФОРМУВАННЯ РЕКОМЕНДАЦІЙ ЩОДО СОЦІАЛЬНОГО ДИСТАНЦІЮВАННЯ В УМОВАХ ПАНДЕМІЇ .....	19
2.1 Проектування інструментів аналізу рішень.....	19
2.2 Дані для підтримки прийняття рішень.....	20
2.3 Модель поширення інфекційних захворювань в умовах пандемії ....	24
2.4 Моделювання процесів прийняття рішень .....	28
2.5 Аналіз сценаріїв розвитку пандемії.....	30
2.5.1 Базовий сценарій .....	33
2.5.2 Вищий сценарій передачі .....	39
2.5.3 Нижчий сценарій передачі .....	40
2.6 Висновок до другого розділу .....	42
3 ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ПРО ЗАПРОВАДЖЕННЯ ТА ЗНЯТТЯ ЗАХОДІВ СОЦІАЛЬНОГО ДИСТАНЦІЮВАННЯ .....	43
3.1 Висновок до третього розділу .....	54
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ .....	55
4.1 Сучасні інформаційні технології та їх вплив на людину в умовах пандемії.....	55

4.2 Організація оповіщення і зв'язку у надзвичайних ситуаціях	
техногенного та природного характеру.....	58
ВИСНОВКИ.....	60
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ.....	61
ДОДАТКИ	



## ВСТУП

**Актуальність теми.** Пандемія COVID-19 стала важливою проблемою в галузі охорони здоров'я у світі. Вона порушила життя мільйонів людей. Інструменти аналізу прийняття рішень можуть допомогти керівникам моделювати різнотипові сценарії соціального дистанціювання на ранніх етапах глобальних спалахів пандемії. Адже в умовах пандемії слід очікувати множинних інфекційних хвиль. Ефективним засобом для боротьби з пандемією є запровадження політики соціального дистанціювання громадян, коли немає достатньо ефективних та протестованих вакцин для масової імунізації всіх громадян та відповідних противірусних засобів. Тому дослідження аналітичних засобів для потреб рекомендаційних систем в умовах пандемії є актуальним напрямком досліджень. Адже вони є ефективними інструментами для оцінювання ефективності ранніх заходів соціального дистанціювання в громадах з різними характеристиками населення.

**Мета і задачі дослідження.** Метою даної кваліфікаційної роботи освітнього рівня «Магістр» є підвищення рівня повноти подання інформації щодо процесів розповсюдження інфекційних захворювань в умовах пандемії. Для досягнення поставленої мети було потрібно виконати наступні завдання:

- Проаналізувати стан досліджень в галузі аналітичного опрацювання.
- Дослідити існуючі варіанти запровадження політики соціального дистанціювання.
- Проаналізувати моделі поширення інфекційних захворювань в умовах пандемії.
- Проаналізувати сценарії розвитку пандемії.
- Дослідити процеси прийняття рішень про запровадження та зняття заходів соціального дистанціювання в умовах пандемії.

**Об’єкт дослідження** процесу аналітичного опрацювання в системах формування рекомендацій в умовах пандемії.

**Предмет дослідження** засоби аналітичного опрацювання для рекомендаційних систем в умовах пандемії.

**Наукова новизна одержаних результатів** кваліфікаційної роботи полягає у тому, що отримала подальший розвиток модель поширення інфекційних захворювань в умовах пандемії.

**Практичне значення одержаних результатів.** Сформовано рекомендації щодо запровадження заходів соціального дистанціювання в умовах пандемії.

**Апробація результатів магістерської роботи.** Основні результати проведених досліджень обговорювались на ІХ науково-технічній конференції «ІНФОРМАЦІЙНІ МОДЕЛІ, СИСТЕМИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ» Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя (м. Тернопіль, 2021 р.).

**Публікації.** Основні результати кваліфікаційної роботи опубліковано у двох працях конференції (Див. додатки А).

**Структура й обсяг кваліфікаційної роботи.** Кваліфікаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку літератури з 45 найменувань та одного додатка. Загальний обсяг кваліфікаційної роботи складає 67 сторінок, з них 46 сторінки основного тексту, який містить 25 рисунків та 7 таблиць.

# 1 ПАНДЕМІЯ ТА ВАРІАНТИ ЗАПРОВАДЖЕННЯ ПОЛІТИКИ СОЦІАЛЬНОГО ДИСТАНЦЮВАННЯ

## 1.1 Пандемія та важливість заходів соціального дистанціювання громадян

11 березня 2020 року ВООЗ оголосила глобальний спалах, спричинений коронавірусною хворобою COVID-19, пандемією. Цей новий вірус належить до сімейства коронавірусів під назвою SARS-CoV-2 [1], був вперше виявлений в м. Ухань, Китай, у грудні 2019 року. Він надзвичайно швидко поширився по всьому світу.

На даний час є обширна множина невідомих факторів, що стосуються природних характеристик та походження вірусу. Основним способом передачі в основному респіраторний варіант, що виділяється з рота чи носа інфікованої людини, а потім вдихаються іншою особою. При контакті з забрудненими інфекцією поверхнями можна також заразитися COVID-19 [2]. Ранні епідеміологічні оцінки свідчать, що важкість перебігу нового вірусу відносно вища у літніх членів популяції ніж у молодих громадян [3].

Глобальні пандемії були серйозною загрозою для різнотипових систем в галузі охорони здоров'я, соціального та економічного життя практично всіх держав у всьому світі. Інструменти для підтримки прийняття рішень були безцінними для формування стратегії оперативного реагування відповідно до нових даних. Підходи до моделювання в процесах підтримки прийняття рішень відіграють ключову роль на рівні з іншими інформаційними системами та технологіями в галузі охорони здоров'я [4].

Пандемія COVID-19 стала суттєвою проблемою для систем охорони здоров'я у всьому світі. Адже вона спричинила порушення та зміну умов життя мільйонів громадян в обширному переліку країн. На ранніх стадіях пандемії заходи для збільшення соціальної дистанції між громадянами

спрямовані на зменшення можливостей передачі інфекції та, як наслідок, зменшення загального навантаження на систему охорони здоров'я.

Ефективність заходів соціального дистанціювання залежить від щільності населення та основних моделей мобільності соціального середовища. Адже окремі регіони мають значні відмінності характеристик щільності населення та демографічних конфігурацій. Наприклад, одні регіони мають інші показники мобільності та соціальної динаміки населення, ніж регіони з соціополісами та мегаполісами. В деяких регіонах низька щільність населення та моделі мобільності громадян в відносно меншому використанні громадського транспорту. А в мегаполісах з вищою щільністю населення використання громадського транспорту значно поширеніше.

На ранніх етапах пандемії місцеві керівники, що приймають відповідальні рішення, повинні визначити політику соціального дистанціювання, яка відповідатиме локальній динаміці розвитку епідемії з характерними для регіону соціальними потребами та реаліями. Тому система підтримки прийняття рішень, що агрегує локальні та глобальні епідеміологічні дані та проводить оцінювання тенденцій розвитку пандемії для інформаційного супроводу політичних та управлінських рішень є надзвичайно важливою в галузі охорони здоров'я.

При розробці рекомендаційних систем потрібно застосовувати аналітичний підхід до процесів прийняття рішень, який дозволяє реалізувати ефективні інструменти для оцінювання властивостей та характеристик заходів раннього соціального дистанціювання в громадах з різними демографічними характеристиками та показниками.

Спочатку доцільно провести емпіричне оцінювання кількості відтворення для двох різних станів, з використанням ранніх локальних відомостей щодо кількості випадків інфікування. Потім потрібно сформулювати структуровану відповідно до віку компартментальну імітаційну модель

поширення захворювання, щоб продемонструвати динаміку розвитку спостережуваного інфекційного спалаху. На основі обчислювальних експериментів доцільно продемонструвати, що заходи соціального дистанціювання з різними параметрами та шляхами прийняття рішень, зокрема, різні тригери початку та різна тривалість процедур соціального дистанціювання, можуть призвести до ефективної локалізації спалаху.

Потрібно продемонструвати роль та взаємні впливи параметрів ранніх та пізніх тригерів, масштабів та часу і загальної кількості загиблих від епідемічного спалаху осіб. Потрібно проаналізувати результати обчислень продемонструвати, що ранні стратегії соціального дистанціювання призводять до зменшення кількості загиблих громадян та збільшення другої епідемічної хвилі. А пізні стратегії соціального дистанціювання призводять до вищої початкової кількості летальних випадків захворювання та зменшення другої хвилі.

В процесі дослідження потрібно реалізувати аналітичні інструменти підтримки прийняття рішень, призначені для інтеграції еволюційних даних про епідемію, інтегровані з імітаційною моделлю, яка може допомогти керівникам моделювати різні сценарії соціального дистанціювання на різних стадіях глобальних спалахів інфекційних захворювань. Для цього доцільно використати структуру аналізу процесів прийняття рішень, зокрема проаналізувати стратегії повторного відкриття та двофазного сценарію повторного відкриття.

Для спалаху з меншою швидкістю передачі короткий період соціального дистанціювання та сценарій негайного повторного відкриття можуть бути ефективними для контролю процесів розвитку епідемії. Водночас, для спалахів з середньою або високою швидкістю інфікування, чим довші фази до повторного відкриття, тим більше послаблюється сила спалаху та зменшується кількість летальних випадків з віддаленням пікового часу.

Розуміння суті епідемічних процесів зможе надати посадовим особам в галузі охорони здоров'я більше часу для нарощення можливостей медичних систем, установ та організацій.

## 1.2 Огляд та аналіз наукових літературних джерел

Ранні епідеміологічні оцінювання природніх процесів розвитку інфекційних захворювання характеризуються значною невизначеністю. Організації охорони здоров'я та дослідники у всьому світі повідомляють дані епідеміологічного нагляду та сформовані висновки, надаючи при цьому детальну інформацію про рівень смертності та поширення інфекцій. Ранні дослідження динаміки передачі COVID-19 містять аналіз даних про перші чотириста двадцять п'ять підтверджених випадків в Китайському місті Ухань. При цьому було встановлено, що середній інкубаційний період COVID-19 становить п'ять цілих дві десятих дня. Проте, у вибірці [5], 95-й перцентиль інкубаційного періоду становить дванадцять з половиною днів.

В кваліфікаційній роботі оцінюється основне репродуктивне число ( $R_0$ ) – це середнє число випадків вторинного інфікування в повністю сприйнятливій популяції. Воно знаходиться в діапазоні від півтора до трьох цілих п'яти десятих [5]. Епідеміологічні оцінки підтверджують надзвичайну заразність вірусу COVID-19, що призвело масового інфікування популяції по всьому світу за короткі часові проміжки.

В роботі [6], опубліковано дослідження новин та прес-релізів щодо COVID-19 за межами Уханя та подано оцінку середнього інкубаційного періоду рівну п'яти цілим одній десятій дня а 97,5-й перцентиль рівний одинадцять з половиною днів. Група авторів, очолена Лінтоном [7] також оцінили очікуваний інкубаційний період приблизно п'ять днів з відносно більшим діапазоном від двох до чотирнадцяти днів. Враховуючи відносно високі оцінки основного репродуктивного числа  $R_0$  та відносно тривалий

інкубаційний період, у ряді країн спостерігається експоненційне зростання підтверджених випадків COVID-19. Тому суттєво ускладнюється розробка заходів боротьби з епідемією.

Важливо, що значна частина випадків є безсимптомними, але інфекційними [5]. Виявлено, що ця характеристика вірусу є однією з основних причин поширення COVID-19 серед населення. Тому заходи соціального дистанціювання мають вирішальне значення для того, щоб забезпечити час для підготовки та реакції систем охорони здоров'я, задоволення запитів на медичну допомогу та, зрештою, пом'якшення впливу пандемії.

На економіку багатьох країн було введено ряд обмежень для зменшення ризику інфікування, зокрема, заборона поїздок, скасування громадських заходів – концертів, спортивних заходів тощо, закриття неважливих підприємств та накази «залишитися вдома». Оскільки запроваджені в різних країнах світу заходи соціального дистанціювання спричиняють значний вплив на економіку, то вони викликали обширні суперечки. Зазвичай важко точно оцінити передачу та тяжкість інфекцій, спричинених нещодавно виниклим вірусом, то на ранніх стадіях епідемії буде виникати багато невизначеностей щодо динаміки прогресування захворювання в окремих громадах.

Особи, які приймають рішення в галузі охорони здоров'я, повинні будуть приймати важливі рішення щодо використання чи закриття шкіл та інших заходів із соціального дистанціювання для пом'якшення економічних впривів та наслідків для громад поки не буде розроблено та розповсюджено правильні штами для вакцинації громадян. Однак ці стратегії можуть відрізнятися залежно від соціальних та демографічних характеристик різних спільнот. Тому в кваліфікаційній роботі потрібно представити своєчасну еволюцію оцінювання репродуктивної кількості в двох різних локаціях з різними соціальними та демографічними показниками. Зокрема, потрібно

провести спостереження в регіонах з високими показниками та в регіонах де спостерігаються відносно нижчі показники передачі в громадах. При цьому потрібно оцінити базові сценарії, заснованим на більш глобальних оцінках. Потрібно провести оцінювання заходів соціального дистанціювання, з метою аналізу та формування єдиної ефективної політика в абсолютно різних регіонах з метою мінімізації кількості ризикованих випадків та смертності.

Заходи соціального дистанціювання мають значний вплив на поширення інфекційних захворювань серед населення. Це також підтверджується спостереженнями під час пандемії COVID-19 [8]. Впродовж останнього часу в науковій літературі опубліковано ряд аналітичних підходів, сформованих для проведення аналізу ефективності або економічної ефективності різних стратегій пом'якшення наслідків для системи громадського здоров'я. Фуманеллі [9] досліджує заходи соціального дистанціювання сформовані на закритті шкіл. При цьому проведено аналіз загальнонаціональних, загальнодержавних, реактивних від школи до школи та поступових реактивних заходів. Гойович [10] розробив імітаційну модель спалаху  $H_1N_1$  в структурованій популяції та оцінив різні стратегії пом'якшення наслідків. В опублікованому дослідженні розроблено аналітичну структуру прийняття рішень використовується для різних стратегій пом'якшення, які включають закриття шкіл; однак ці аналізи обмежені і не передбачають аналізу економічної ефективності. Цьяварелла [11] досліджує політику закриття шкіл на муніципальному рівні для пом'якшення поширення ГРВІ за допомогою компартментальних моделей. Системи аналітики та підтримки прийняття рішень використовуються з компартментною моделлю для контролю епідемій інфекційних захворювань.

Можливість виникнення пандемії постійно підвищує глобальні ризики для систем охорони здоров'я та економіки. Араз [12] досліджує регіональні та державні департаменти охорони здоров'я та презентує політику охорони здоров'я для пом'якшення та реагування на пандемії [13]. Моделювання та



імітаційні дослідження використовуються для оптимального планування фармацевтичного втручання включно з політикою вакцинації [14], [15], нефармацевтичними втручаннями та моделюванням динаміки прогресування захворювання [16], [17]. При розробці політики соціального дистанціювання, дослідники та чиновники в галузі охорони здоров'я використовували моделі та статистичний аналіз для оцінювання ефективності та витрат відповідно до можливих сценаріїв розвитку пандемії.

Араз [18] розробив декілька систем підтримки прийняття рішень та інструментальних засобів візуалізації для покращення готовності систем громадського здоров'я. Автор досліджував оцінювання процесів закриття шкіл. Арора [19] провів оптимізацію розподілу фармацевтичних ресурсів. Впродовж останнього часу проводиться оцінювання ролі інструментальних засобів підтримки прийняття рішень з інтерактивними панелями для оперативного реагування на надзвичайні ситуації та підвищення ступеня поінформованості про епідеміологічну ситуацію [20]. Вони можуть відображати результати моделювання та аналізу сценаріїв для оперативного реагування в галузі громадського здоров'я.

Епідеміологічна ефективність заходів соціального дистанціювання підвищує зацікавленість до процесів моделюванням з метою пом'якшення наслідків пандемії. Тому проведені в кваліфікаційній роботі дослідження зосереджено на потенційних можливостях політики соціального дистанціювання. Дослідження [21] демонструють, що закриття навчальних закладів може спричиняти вагомий вплив на ефективну кількість відтворення та на загальне поширення інфекційних захворювань. Наприклад [22], експерт в галузі охорони здоров'я описує карантинні процедури закриття шкіл.

Після пандемії грипу  $H_1N_1$  у 2009 році багато досліджень продемонстрували економічну ефективність та епідеміологічний вплив великого набору політики закриття навчальних закладів. Пандемія COVID-19, на відміну від  $H_1N_1$ , породила більше політичних, соціальних та

економічних проблем та збурень, оскільки стала серйознішою та глобальнішою пандемією. Тому доцільно оцінити множину більш комплексних політик соціального дистанціювання в поєднанні з різними стратегіями постпандемічного відновлення. Вихідними показниками для оцінювання політики соціального дистанціювання, є ефективність використання медичних послуг та рівень смертності. Оцінювання потрібно провести за допомогою каліброваної моделі на основі відомостей про передавання даних соціально-демографічного розкладу. Дослідження слід провести представляючи епідеміологічне моделювання на основі даних із системою аналізу рішень для підтримки політики соціального дистанціювання. На основі проведення аналізу потрібно продемонструвати, що на основі політики соціального дистанціювання можна очікувати множинних інфекційних хвиль з різними піковими масштабами та часовими залежностями. В дослідженні потрібно оцінити час, отриманий за допомогою заходів соціального дистанціювання в різних регіонах з різною конфігурацією населення, поки не стануть доступними масові заходи вакцинації або ефективні противірусні засоби.

### **1.3 Варіанти запровадження політики соціального дистанціювання**

При формуванні аналітичного підходу доцільно розглянути три основні стратегії соціального дистанціювання [23] в поєднанні з процедурами прийняття рішень про повторне відкриття:

1. Стратегія без закриття – це базовий випадок, коли не запроваджується жодний захід соціального дистанціювання.

2. Соціальне дистанціювання з стратегією негайного повторного відкриття – заходи соціального дистанціювання впроваджуються на фіксований термін з подальшим повним відновленням роботи.

3. Стратегія «Відновлення з фазами» – коли впроваджуються заходи соціального дистанціювання з наступним двоетапним відновленням.

Зазначені варіанти політики моделюються на основі коригування кількості контактів для досліджуваних вікових груп. Для стратегії без закриття коефіцієнти контактів залишаються незмінними [23]. Всі досліджувані сценарії подані на рисунку 1.1.

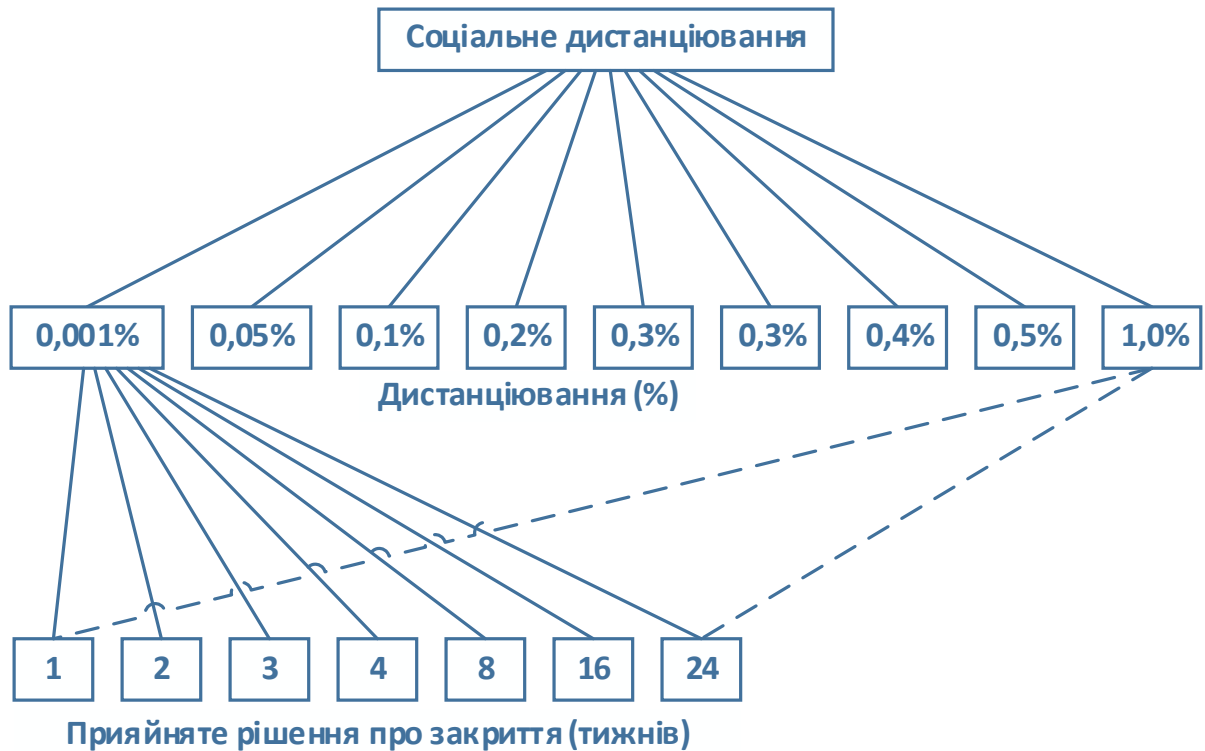


Рисунок 1.1 – Критерії та параметри тривалості соціального дистанціювання

Для стратегії негайного повторного відкриття частота контактів зменшується протягом фіксованої тривалості закриття. Після зазначеного періоду кількість контактів повертається до початкових значень. При реалізації повторного відкриття з фазами частота контактів спочатку зменшується протягом фіксованої тривалості закриття. Потім у першій фазі вони трохи збільшуються порівняно зі значеннями під час закриття. Кількість контактів ще більше збільшується під час другої фази. Швидкість контактів повертається до початкових значень після другої фази. Оскільки на момент

проведення дослідження [23] не було накопичено достатньо відомостей для дотримання соціального дистанціювання в конкретних окремих громадах то не доцільно розглядати фактор моделювання як відповідність.

Араз [24] дослідив, що, оскільки більшість політик соціального дистанціювання впроваджується шляхом моніторингу відсотка випадків, то заходи соціального дистанціювання спрацьовують відповідно до поширеності в громадах. Розглядатимемо тривалість запровадження політики дистанціювання впродовж 1, 2, 3, 4, 8, 16 та 24 тижнів. Вони поєднуються з показниками поширеності 0,001%, 0,05%, 0,1%, 0,2%, 0,3%, 0,4%, 0,5% і 1%.

#### **1.4 Висновок до першого розділу**

В першому розділі кваліфікаційної роботи освітнього рівня «Магістр» описано пандемію та важливість заходів соціального дистанціювання громадян. Подано огляд та аналіз наукових літературних джерел. Досліджено варіанти запровадження політики соціального дистанціювання.

## 2 ІНСТРУМЕНТИ, ДАНІ ТА МОДЕЛІ ФОРМУВАННЯ РЕКОМЕНДАЦІЙ ЩОДО СОЦІАЛЬНОГО ДИСТАНЦІЮВАННЯ В УМОВАХ ПАНДЕМІЇ

### 2.1 Проектування інструментів аналізу рішень

Потрібно розглянути аналітичний підхід для оцінювання політики соціального дистанціювання в умовах пандемії для інформування керівників, оскільки саме вони приймають рішення на місцях в окремих рериторіальних громадах, населених пунктах та локаціях [25]. Структура процесу підтримки прийняття рішень щодо запровадження заходів соціального дистанціювання громадян в умовах пандемії подана на рисунку 2.1 [23].

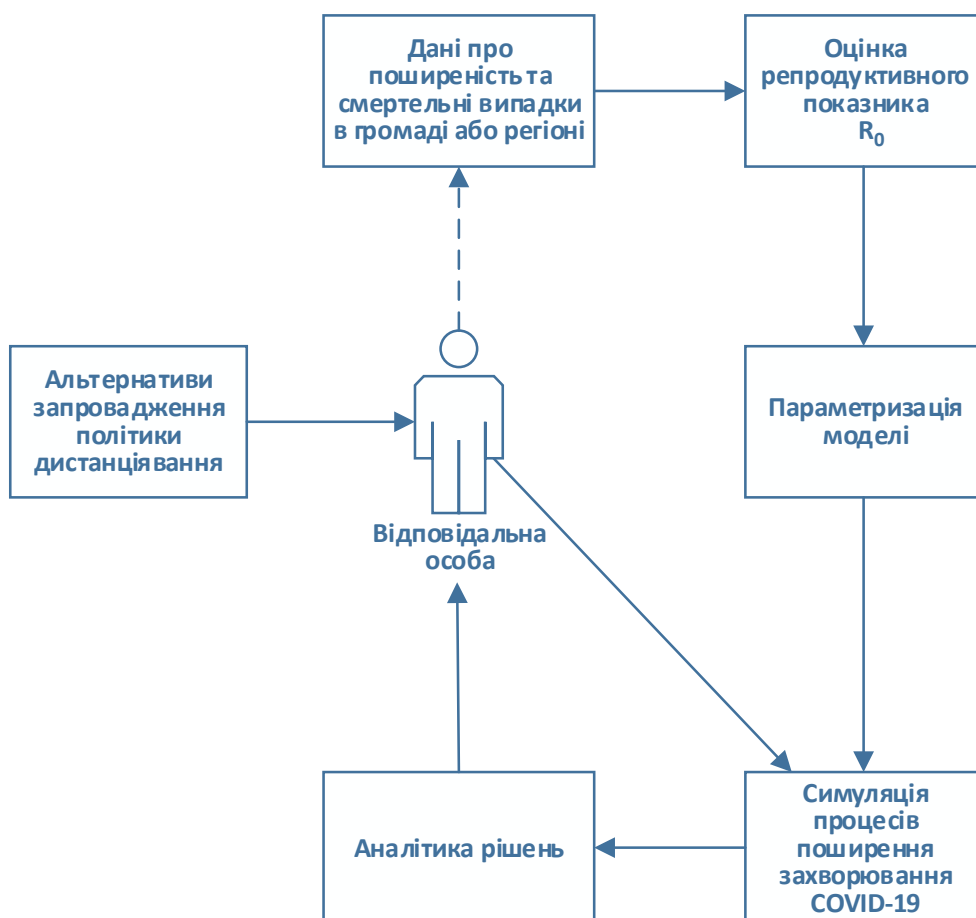


Рисунок 2.1 – Структура процесу підтримки прийняття рішень щодо запровадження заходів соціального дистанціювання громадян

Після опрацювання та використання даних про поширеність стану для оцінювання локального репродуктивного показника  $R_0$  доцільно розробити структуровану за віком компартментальну масову модель, параметризовану на основі оцінювання [26]. Потім відбувається інтеграція аналітичної системи підтримки прийняття рішень щодо соціального дистанціювання, яка відображає потенційні варіанти політики соціального дистанціювання, щоб оцінити вплив запроваджених заходів закриття та відновлення на систему охорони здоров'я та економіку [23]. Вплив стратегій оцінюється на основі результатів проведених обчислень, отриманих на основі:

- кумулятивної частоти спалахів;
- прогнозованої пікової поширеності поданої у відсотковому форматі;
- пікового часу;
- піку госпіталізацій;
- кумулятивного показника смертності.

На наступному етапі відбувається інтерпретація розгляної політики соціального дистанціювання, використаних даних, імітаційної моделі поширення інфекційного захворювання та механізмів моделювання рішень щодо закриття та повторного відкриття регіону або локації.

## **2.2 Дані для підтримки прийняття рішень**

Ранні опубліковані в наукових джерелах оцінки основного репродуктивного показника  $R_0$  для COVID-19 дещо перевищували два [5]. Однак вони мали ряд залежних від джерела даних відхилень. На додаток до основного репродуктивного числа, в таблиці 2.1 подано перелік та оцінки використаних у моделі ключових параметрів [25]. Серед сформованих на основі аналізу обширного переліку наукових літературних джерел виділено:

- латентний період;
- частка безсимптомно-інфікованих осіб;

- залежність від віку;
- рівень смертності.

Таблиця 2.1 Параметри моделі

Параметри	Позна- чення	Значен- ня	Діапазон	Джерело
Сила зараження	обчисл.	–	–	[23]
Основне репродуктивне число	$R_0$	2.1	[1.5,3.15]	[23]
Передача між віковими групами	$\beta_{ij}$	–	–	[23]
Вікові показники контактів	$c_{ij}$	–	–	[27]
Безсимптомний латентний період	$\xi_1$	5 днів	–	[28]
Симптоматичний латентний період	$\xi_2$	5 днів	–	[28]
Безсимптомна пропорція	$\alpha$	*	10-34.8%	[2], [29]
Частота безсимптомного перебігу	$\theta_1$	5%	–	[28]
Розвиток симптомів	$\theta_2$	7 днів	–	[28]
Безсимптомне одужання	$r$	7 днів	–	[28]
період	$h_i$	*	–	[2], [1]
Симптоматичний період відновлення	$\varphi_1$	–	–	[2], [1]
Вікова ставка госпіталізації	$\varphi_2=1-\varphi_1$	–	–	[2], [1]

\* – Рівномірно розподілені

Для інформаційного забезпечення процесів підтримки прийняття рішень доцільно використовувати щоденні дані про кількість випадків інфікування. Ці дані потрібні для калібрування значення параметра частоти контактів з метою отримання оціненого репродуктивного коефіцієнта  $R_0$ . Графік залежності кількості випадків інфікування від часу для регіону з мегаполісом, великою густиною та низькою мобільністю населення [23] подано на рисунку 2.2.

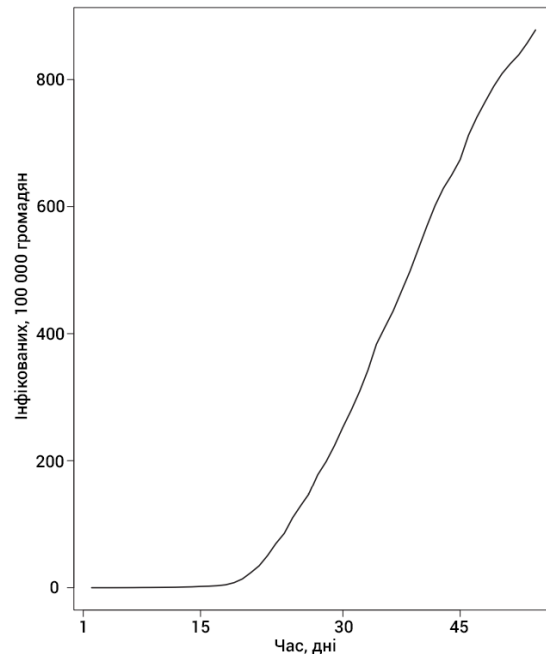


Рисунок 2.2 – Кількість випадків інфікування для регіону з мегаполісом та великою густиною населення

Графік залежності кількості випадків інфікування від часу для регіону з низькою густиною населення [23] подано на рисунку 2.3.

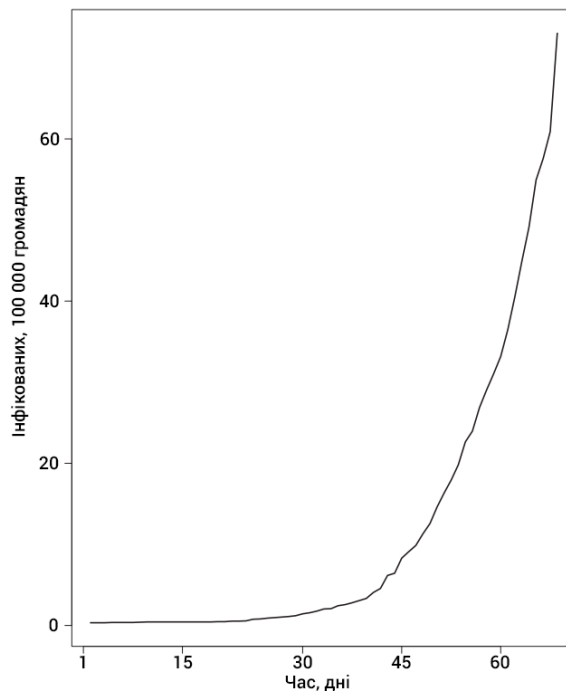


Рисунок 2.3 – Кількість випадків інфікування для регіону з низькою густиною населення



Графік залежності репродуктивного коефіцієнта від часу для регіону з мегаполісом, великою густиною та низькою мобільністю населення [23] подано на рисунку 2.4.

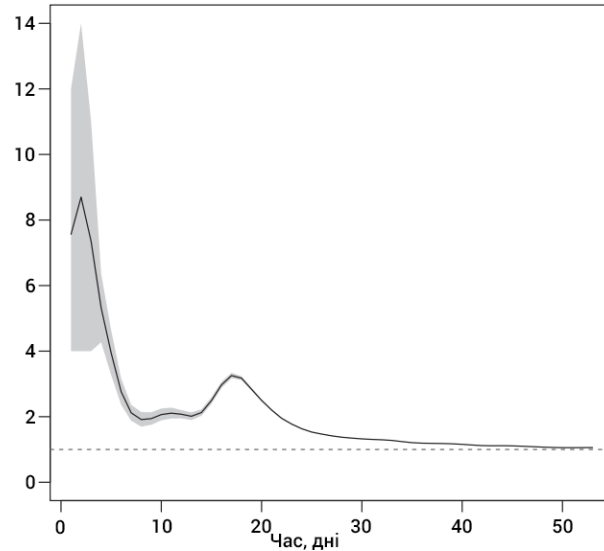


Рисунок 2.4 – Репродуктивний коефіцієнт для регіону з мегаполісом та великою густиною населення

Графік залежності репродуктивного коефіцієнта від часу для регіону з низькою густиною населення [23] подано на рисунку 2.5.

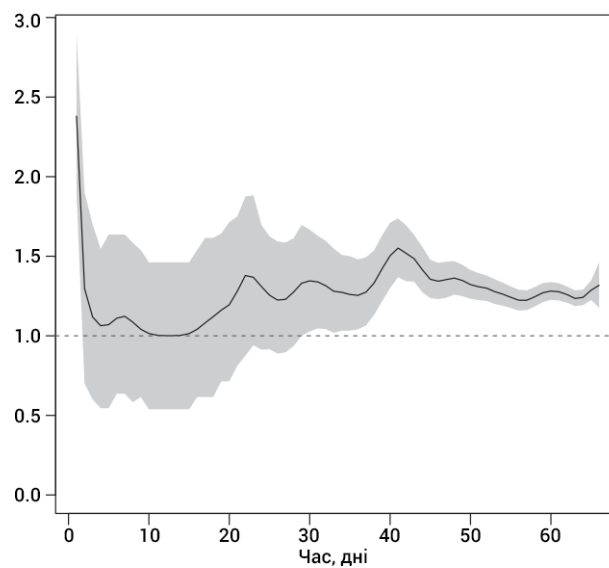


Рисунок 2.5 – Репродуктивний коефіцієнт для регіону з низькою густиною населення

Для кожного стану відбувається понаднормове оцінювання репродуктивного коефіцієнта з межами невизначеності. Однак доцільно для кожної локації доцільно використовувати найближчі точкові оцінки. Оцінки понаднормового часу значно відрізняються [23]. Не зважаючи на те, що збігаються до одиниці, вони не перекриваються. Потім, використовуючи теоретичну формулу для  $R(t)$ , потрібно відкалібрувати швидкість контакту для досягнення спостережуваного відтворення оцінених випадків.

### 2.3 Модель поширення інфекційних захворювань в умовах пандемії

Автори [23] дослідили модель поширення захворювання на основі диференціальних рівнянь. Вона була створена для імітації прогресу інфекційних захворювань в громадах. Доцільно проаналізувати стратегії запуску моделі, які використовуються для формування політики соціального дистанціювання та механізмів відновлення на основі фаз. Компартментальні моделі поширення захворювань широко використовуються в обчислювальній математичній та епідеміології [30]. В цих моделях всі особи громади діють однаково, але незалежно одна від одної в однорідно змішаній популяції окремого регіону або локації [31].

При створенні систем підтримки прийняття для формування рекомендацій щодо соціального дистанціювання в умовах пандемії доцільно використовувати структуровану за віком, безперервну часову компартментальну модель [23] із застосуванням специфічних для популяції даних та врахуванням невизначеності множини вхідних параметрів. Рівняння 2.1 описує модель динаміки передачі захворювання COVID-19 в окремій популяції та потоку громадян, що переходять від одного хворобливого стану до іншого.

$$\frac{d(S_i(t))}{dt} = -\lambda_i S_i(t). \quad (2.1)$$

Вони представляють прогрес захворювання для громадян, які захворіли першими та є сприйнятливими до інфекційного захворювання. Потім окремих індивідуум популяції піддається захворюванню і стає безсимптомним або симптоматично інфекційним [32]. Безсимптомні інфекційні особи або проявляють симптоми і стають симптоматично інфекційними, або одужують від хвороби без прояву будь-яких симптомів. Модель зміни хворобливих станів громадян подана на рисунку 2.6.

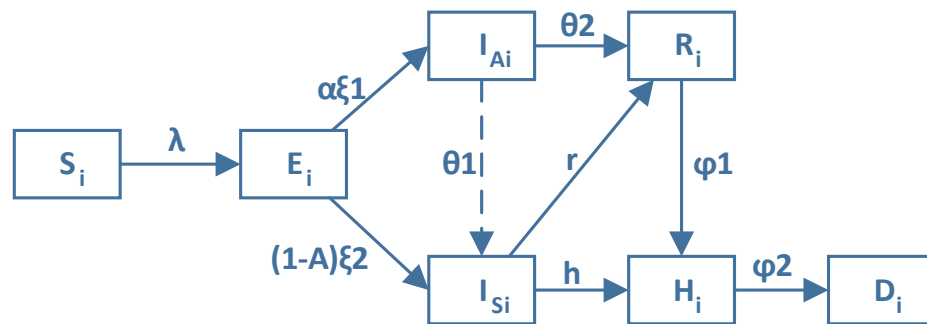


Рисунок 2.6 – Модель перебігу COVID-19 при госпіталізації

Симптоматичні інфекційні особи можуть одужати самостійно або бути госпіталізованими [23]. Госпіталізовані особи можуть одужати або померти від хвороби.

При моделюванні динаміки поширення інфекційних захворювань в умовах пандемії:

–  $S_i(t)$  – кількість сприйнятливих осіб у спільноті на момент часу  $t$  і для вікової групи;

–  $E_i(t)$  – інфіковані особи;

–  $I_{Ai}(t)$  – безсимптомні інфекційні особи;

–  $I_{Si}(t)$  – симптоматичні інфекційні випадки;

–  $R_i(t)$  – одужання у віковій групі;

–  $H_i(t)$  – госпіталізовані випадки на момент часу  $t$  для вікової групи  $i$ ;

–  $D_i(t)$  – кількість смертей у кожній віковій групі в момент часу  $t$ .

Сила інфікування кожної вікової групи:

$$\lambda_i = \frac{\sum_{j=1}^k \beta_{ij} c_{ij} (I_{A_i}(t) + I_{S_i}(t))}{N(t)}. \quad (2.2)$$

При цьому:

- $\beta_{ij}$  – передачу між віковими групами  $i$  та  $j$ ;
- $c_{ij}$  – представляє швидкість контакту між віковими групами  $i$  та  $j$ ;
- $N_i(t)$  – кількість осіб у момент часу  $t$  для вікової групи  $i$ .

Тоді

$$N_i(t) = S_i(t) + E_i(t) + I_{A_i}(t) + I_{S_i}(t) + H_i(t) + R_i(t). \quad (2.3)$$

В свою чергу

$$N(t) = \sum_{j=1}^k N_j(t) \quad (2.4)$$

Вважається, що кожна особа в досліджуваній групі є сприйнятливою до захворювання [23]. Це моделюється в рівнянні 2.1. Для кожної  $i$ -ї вікової групи та відповідної сприйнятливої групи вона отримає поширення інфекції з швидкістю  $\lambda_i$ . Зменшення сприйнятливої частини для вікової групи додаються до сегмента, що піддається впливу, для відповідної вікової групи на кожному часовому етапі моделювання. Моделювання відбувається з кроком один день.

Зменшення у відкритому відсіку поділяються на дві групи. Перша група демонструє симптоми і переміщується до  $I_{S_i}(t)$ . друга група не проявляє жодних симптомів і переміщується до  $I_{A_i}(t)$  відповідно до рівняння

$$\frac{d(E_i(t))}{dt} = \lambda_i S_i(t) - (\alpha \xi_1 + (1 - \alpha) \xi_2) E_i(t). \quad (2.5)$$

Зменшення у відкритій вибірці без будь-яких симптомів додаються до інфекційної безсимптомної вибірки [33]. З цього сегмента на кожному етапі часу частина громадян відновлюються та, як наслідок, вилучаються з  $I_{A_i}(t)$  для кожної вікової групи відповідно до рівняння 2.6.

$$\frac{d(I_{A_i}(t))}{dt} = \alpha \xi_1 E_i(t) - (\theta_1 + \theta_2) I_{A_i}(t). \quad (2.6)$$

Аналогічно, для симптоматичного сегмента зменшувальні декременти для відкритого сегмента з симптомами додаються до симптоматичного сегмента відповідно до рівняння 2.7.

$$\frac{d(I_{S_i}(t))}{dt} = (1 - \alpha) \xi_2 E_i(t) + \theta_1 I_{A_i}(t) - (r + h) I_{S_i}(t). \quad (2.7)$$

Після інфекційного періоду особи в симптоматичному відсіку або одужують без будь-якої госпіталізації [25], або госпіталізуються на певний період часу, як зазначено у виразі

$$\frac{d(H_i(t))}{dt} = h I_{S_i}(t) - (\phi_1 + \phi_2) H_i(t). \quad (2.8)$$

Госпіталізовані особи або одужують із заданою швидкістю, відповідно до виразу 2.9.

$$\frac{d(R_i(t))}{dt} = \theta_2 I_{A_i}(t) + r_1 I_{S_i}(t) + \varphi_1 H_i(t), \quad (2.9)$$

або померти, відповідно до формули

$$\frac{d(D_i(t))}{dt} = \varphi_2 H_i(t). \quad (2.10)$$

Використовуючи подану модель, можна вивести основне репродуктивне число  $R_0$  системи. Оскільки модель сформовано з віковою структурованою, то воно теж є віковим [34]. Сформуємо теоретичний вираз для  $R_0$  використовуючи оператор наступного покоління

$$R_{0i} = \frac{\sum_{j=1}^k \beta_{ij} c_{ij}(t) [(1 - \alpha)\xi_2(\theta_1 + \theta_2) - \alpha\xi_1(\theta_1 + r + h_i)] S_i(0)}{(\alpha\xi_1 + (1 - \alpha)\xi_2)(\theta_1 + \theta_2)(r + h_i)N(0)}. \quad (2.11)$$

Обчислимо залежне від часу репродуктивне число для  $i$ -ї вікової групи

$$R_i(t) = \frac{\sum_{j=1}^k \beta_{ij} c_{ij}(t) [(1 - \alpha)\xi_2(\theta_1 + \theta_2) - \alpha\xi_1(\theta_1 + r + h_i)] S_i(t)}{(\alpha\xi_1 + (1 - \alpha)\xi_2)(\theta_1 + \theta_2)(r + h_i)N(t)}. \quad (2.12)$$

Сформулюємо теоретичні умови боротьби з епідемією. Зокрема, контроль над епідемією можна досягти, якщо умову  $R_i(t) \leq 1$  можна задовольнити політикою соціального дистанціювання для всіх вікових груп [33]. Щоб досягти спостережуваних показників поширення інфекційних захворювань потрібно проводити калібрування моделі на основі щоденних випадків для досліджуваних вікових груп та територіальних громад.

## 2.4 Моделювання процесів прийняття рішень

Потрібно провести оцінювання множини стратегій соціального дистанціювання та повторного відкриття для різних сценаріїв передачі

різномітипових діапазонів тяжкості пандемії [32]. Кожна альтернатива політики соціального дистанціювання складається з тригера на основі поширеності та фіксованої тривалості до прийняття рішення про повторне відкриття (див. рис. 1.1). Розглянемо детальніше процес моделювання рішень про закриття та повторне відкриття. Відповідно до вищеподаного  $I_{Ai}(t)$  – безсимптомні інфекції для  $i$ -ї вікової групи в момент часу  $t$ , а  $I_{Si}(t)$  – симптоматичні інфекції для  $i$ -ї вікової групи в момент часу  $t$ . У досліджуваній моделі вікові групи  $i \in \{k, a, e\}$  визначаються,  $k$  – для «дітей»,  $a$  – для «дорослих»,  $e$  – для «літніх» громадян. Функція  $f(t)$  – це кумулятивна кількість інфікованих осіб у момент часу  $t$ :

$$f(t) = \int_t (I_{Ak}(t) + I_{Sk}(t)) + \int_t (I_{Aa}(t) + I_{Sa}(t)) + \int_t (I_{Ae}(t) + I_{Se}(t)). \quad (2.13)$$

Подамо математичний вираз для визначення часу тригера для окремої політики соціального дистанціювання:

$$t^* = \operatorname{argmin}(f(t)) | f(t) > \text{trigger}. \quad (2.14)$$

Враховуючи час запуску політики  $t^*$ , потрібно дослідити відношення коефіцієнта контактів  $c_{ij}(t)$  для кожної вікової групи в момент часу  $t$ , коли реалізуються рішення про соціальне дистанціювання та повторне відкриття [35].

*Стратегія негайного відновлення.* Оскільки для спостереження за ефективністю політики знадобиться певний час, тоді  $\delta$  – час реалізації після активації тригера. При цьому  $\varepsilon$  – тривалість дії заходів соціального дистанціювання з мінімальними показниками контактів серед вікових груп.

$$c_{jk}(t) = \begin{cases} c_{open..} & \text{if } t < t^* \\ c_{open..} & \text{else if } t^* \leq t < t^* + \delta \\ c_{closed..} & \text{else if } t^* + \delta \leq t < t^* + \delta + \varepsilon \\ c_{open..} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2.15)$$

Формула 2.15 демонструє, що швидкість контактів змінюється з часом для цієї стратегії.

*Відкриття відповідно до стратегії фаз.* Нехай  $\Delta_1$  – тривалість закриття першої фази, а  $\Delta_2$  – тривалість закриття другої фази. Формула 2.16 демонструє, що швидкість контактів  $c_{jk}(t)$  змінюється з часом під час реалізації зазначеної стратегії соціального дистанціювання [23].

$$c_{jk}(t) = \begin{cases} c_{open..} & \text{if } t < t^* \\ c_{open..} & \text{else if } t^* \leq t < t^* + \delta \\ c_{closed..} & \text{else if } t^* + \delta \leq t < t^* + \delta + \varepsilon \\ c_{phase1..} & \text{else if } t^* + \delta + \varepsilon \leq t < t^* + \delta + \varepsilon + \Delta_1 \\ c_{phase2..} & \text{else if } t^* + \delta + \varepsilon + \Delta_1 \leq t < t^* + \delta + \varepsilon + \Delta_1 + \Delta_2 \\ c_{open..} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2.16)$$

## 2.5 Аналіз сценаріїв розвитку пандемії

Використовуючи компартментальну модель, оцінимо різні стратегії соціального дистанціювання, змінюючи два ключових параметри. Зокрема, порогова поширеність для початку політики соціального дистанціювання та тривалість соціального дистанціювання [26]. Також потребують оцінки стратегії для різних значень. Оскільки різні темпи зростання для різних регіонів та локацій знаходяться емпірично, то на додаток до базового випадку провести глобальне оцінювання значення  $R_0=2,1$ .

Наприклад, динаміка відтворення випадків інфікування у регіоні з мегаполісом та великою густиною населення відрізняється від динаміки в регіоні з низькою густиною населення. Враховуючи використані дані, для



регіону з великою густиною населення швидкість передачі вищу інфекційних захворювань вища та  $\approx 3.15$ . А в регіоні з низькою густиною населення швидкість передачі інфекції нижча та  $\approx 1.57$ , ніж базовий сценарій  $R_0 = 2.1$  в той самий момент часу [23]. На рисунку 2.7 подано графіки змодельованої тимчасової динаміки спалаху для трьох різних репродуктивних коефіцієнтів коли політика соціального дистанціювання не запроваджується.

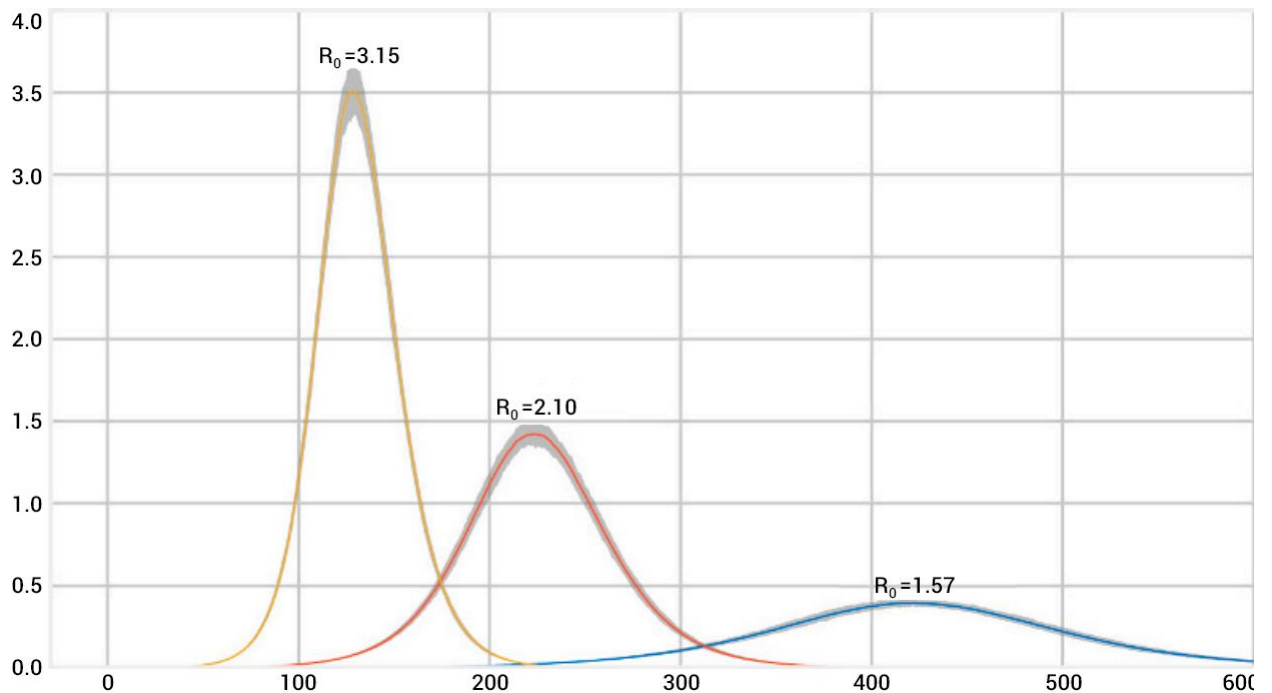


Рисунок 2.7 – Змодельована динаміка поширення інфекції при різних значеннях репродуктивного коефіцієнта без запровадження соціального дистанціювання

Кольорові лінії позначають середнє значення, а затінені фрагменти позначають внутрішній дев'яносто п'яти відсотковий діапазон значень для ста симуляцій. Час піку та масштаби пандемії залежать від значень значень репродуктивного коефіцієнта [33].

Проведені дослідження виявили, що практичні темпи зростання спалаху в окремому регіоні безпосередньо впливають на динаміку спалаху. В регіонах з високою швидкістю передачі повинні очікувати, що пік буде

спостерігатися набагато раніше, ніж в регіонах з нижчою швидкістю передачі. Відповідно, масштаб, тобто висота піку спалаху значно більший для регіонів з високими темпами поширення інфекційних захворювань, ніж в регіонах з низькими темпами зростання.

Коли однакова політика соціального дистанціювання використовується для регіонів з різною густиною населення, то спостерігаються різні наслідки впровадження політики соціального дистанціювання. Зокрема, на рисунку 2.8 подано графіки для різних репродуктивних коефіцієнтів але одієї конкретної політики соціального дистанціювання [23].

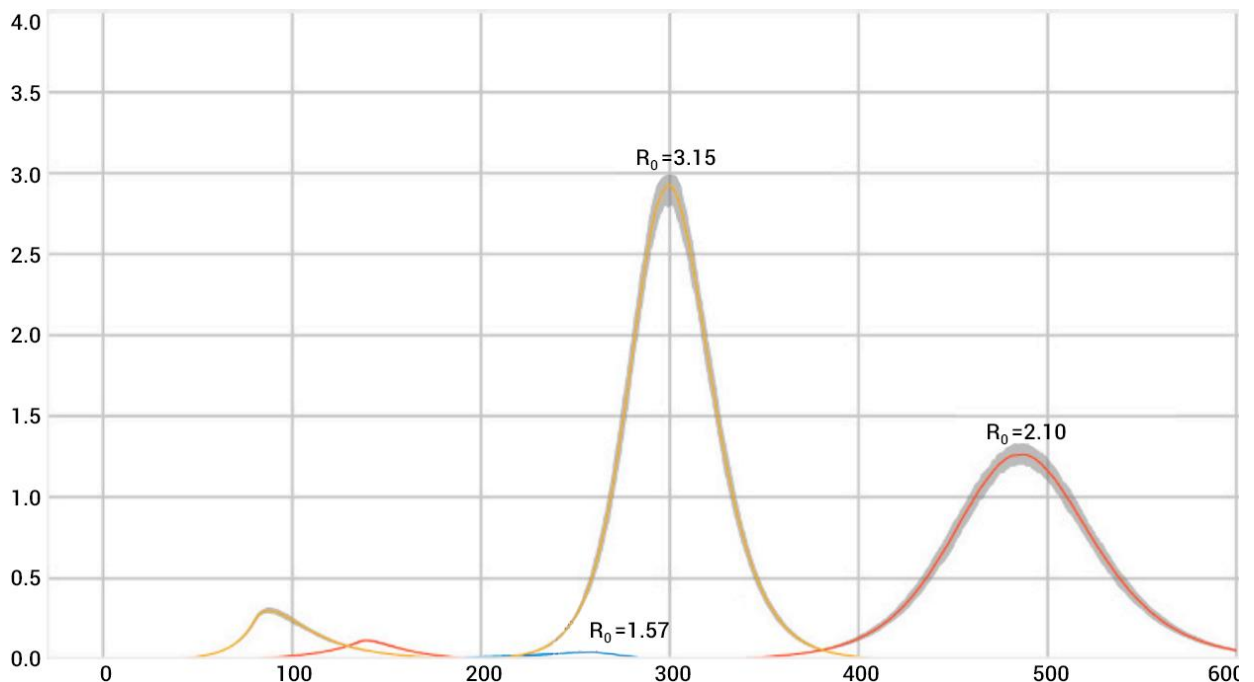


Рисунок 2.8 – Змодельована динаміка поширення інфекції із запровадженням шістнадцятитижневої політики соціального дистанціювання

При цьому активація відбувається, коли сукупний спалах досягає пів процента інфекування та різними значеннями базового репродуктивного коефіцієнта. Для регіонів з вищою густиною населення спалах інфекції призводить до більш ранніх першого та другого піку [36]. Для регіонів із меншою густиною населення пороговий тригер соціального дистанціювання досягається пізніше, а спостережуваний пік є меншим. Змодельовані

симуляції розвитку пандемії продемонстрували, що одна і та сама політика соціального дистанціювання може мати різний вплив на розиток епідемії в різних вікових групах населення. Тому доцільно проводити окреме оцінювання кожного стану. Крім того доцільно провести оцінювання базового сценарію з відповідним репродуктивним коефіцієнтом –  $R_0 = 2.1$ , сценарію високої швидкості передачі –  $R_0 = 3.15$  і сценарій низької передачі –  $R_0 = 1.57$  [23]. Щоб обчислити характерні для COVID-19 відповідні до оціночного часу числа відтворення .

### 2.5.1 Базовий сценарій

Ранні оцінки характеристик вірусу COVID-19 припускають, що основний репродуктивний коефіцієнт буде більшим за два. Однак дослідники повідомляють про обширний коефіцієнт невизначеності [28]. Тому доцільно використовувати базовий сценарій для дослідження динаміки передачі із значенням  $R_0=2,1$ . На рисунку 2.9 подано графіквикористання двох різних порогових значень тригера розмыром пыв процента та один процент.

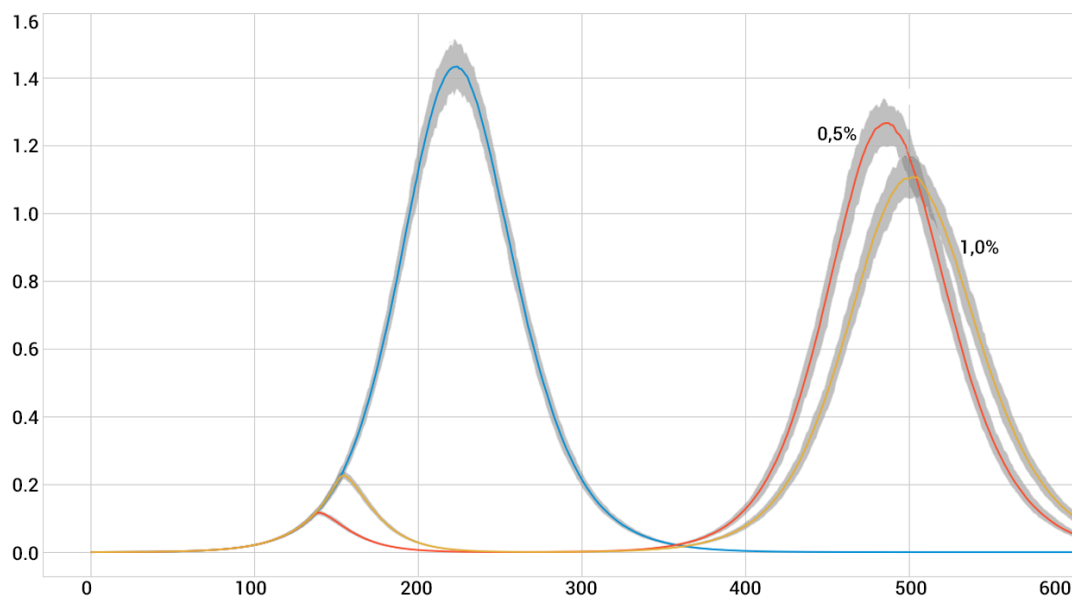


Рисунок 2.9 – Порівняння тригерів політики соціального дистанціювання з стратегією без втручання

Одне з важливих завдань для пом'якшення наслідків пандемії – це успішно прийняти рішення для початку запровадження політики соціального дистанціювання [35]. Вони можуть змінити динаміку розвитку епідемічного спалаху з фіксованою тривалістю соціального дистанціювання за базовим сценарієм з восьми тижнями соціального дистанціювання.

Зокрема, на графіку порівнюються варіанти раннього тригера – пів процента та пізнього – один процент без втручання. Якщо політика соціального дистанціювання запускається рано – 0,5%, то спалах має відносно менший за кількістю випадків інфікування перший пік та набагато вищий другий пік. Водночас, якщо політика соціального дистанціювання впроваджується з запізненням – 1%, то пандемічний спалах має вищий перший пік та менший другий пік. Ранній тригер призводить до більш раннього другого піку, у порівнянні з пізнім тригером. В обох випадках піки значно зменшуються порівняно з піком без застосування будь-яких заходів соціального дистанціювання.

Для спалаху з базовою швидкістю передачі досліджене систематичне та обширне моделювання показує, що головна перевага соціального дистанціювання полягає у виграші часу та відстроченні піку. В таблиці 2.2 подано значення для калібрування моделі [23].

Таблиця 2.2 – Загальна величина піку зараження та час піку з різними сценаріями соціального дистанціювання

$R_0=2.1$	Тривалість заходів	1-а хвиля		2-а хвиля	
		Пік, %	Час піку	Пік, %	Час піку
1	2	3	4	5	6
Без заходів		1.42	226-й день	–	–
Ранній тригер, 0.001	4 тижні	0.0004	20-й день	1.43	283-й день
	8 тижнів			1.42	345-й день

## Продовження таблиці 2.2

1	2	3	4	5	6
	16 тижнів			1.42	471-й день
	24 тижнів			1.41	594-й день
Пізній тригер, 0.5	4 тижні	0.11	141-й день	1.30	289-й день
	8 тижнів			1.27	356-й день
	16 тижнів			1.26	488-й день
	24 тижнів				>600 днів
Дуже пізній тригер, 1.0	4 тижнів	0.22	156-й день	1.18	292-й день
	8 тижнів			1.10	359-й день
	16 тижнів			1.09	501-й день
	24 тижнів				>600 днів

При цьому сценарій без закриття навчальних закладів та без запровадження заходів соціального дистанціювання є базовим вихідним рівнем. В таблиці подано дані при введенні карантинних заходів соціального дистанціювання через 4 тижні, через 8 тижнів, через 16 тижнів та через 24 тижні при збереженні за середнього рівня зараження.

Тривалість фази соціального дистанціювання має мінімальний вплив або зовсім не впливає на величину другої хвилі [25]. Однак це безпосередньо змінює терміни проходження другої пандемічної хвилі. Збільшення періоду очікування другої хвилі може допомогти менеджерам охорони здоров'я до підготовки засобів та медичних цстанов. Порогова величина, яка використовується для запуску політики соціального дистанціювання, має суттєвий вплив на динаміку перебігу епідемії. Зокрема, використання ранніх тригерів призводить до невеликої першої хвилі та збільшеної другої хвилі. Водночас, навпаки, пізніші тригери призводять до відносного більшення першої епідемічної хвилі та зменшення другої хвилі у порівнянні з розмірами другої хвилі для інших варіантів запровадження політики соціального

дистанціювання [36]. Досягнутий результат моделювання дозволяє зробити висновок, що в залежності від готовності систем охорони здоров'я, наявності лікарняних місць в медичних закладах та потужності реанімаційних відділень, ранні або пізні тригери можуть бути використані для балансування величини хвиль, пом'якшення їхніх впливів та підвищення ефективності управління потенціалом системи охорони здоров'я. Кількість випадків госпіталізації громадян має аналогічні тенденції та кореляції з політикою запровадження заходів соціального дистанціювання.

Графік залежності обсягів госпіталізації для раннього тригера та восьми тижневого режиму запровадження заходів соціального дистанціювання [23] подано на рисунку 2.10.

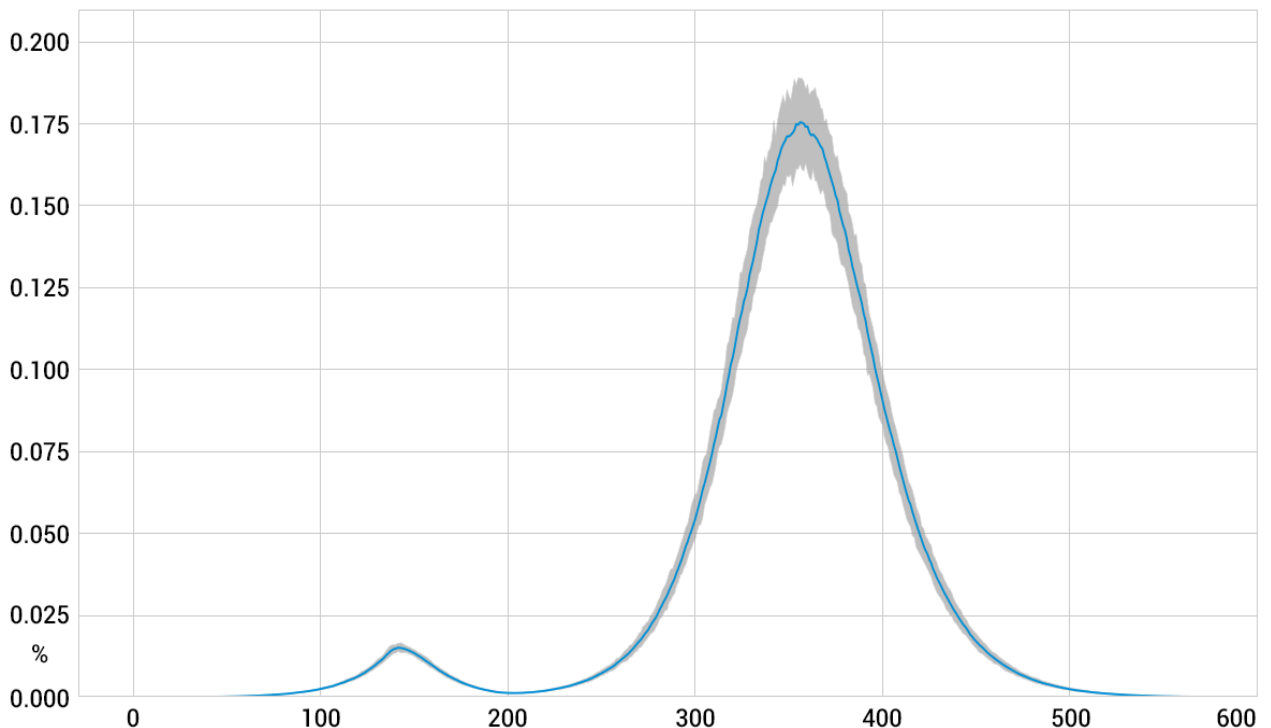


Рисунок 2.10 – Обсяги госпіталізації громадян для раннього тригера та восьми тижневого режиму запровадження заходів

Графік залежності обсягів госпіталізації для пізнього тригера та восьми тижневого режиму запровадження заходів соціального дистанціювання [23] подано на рисунку 2.11.

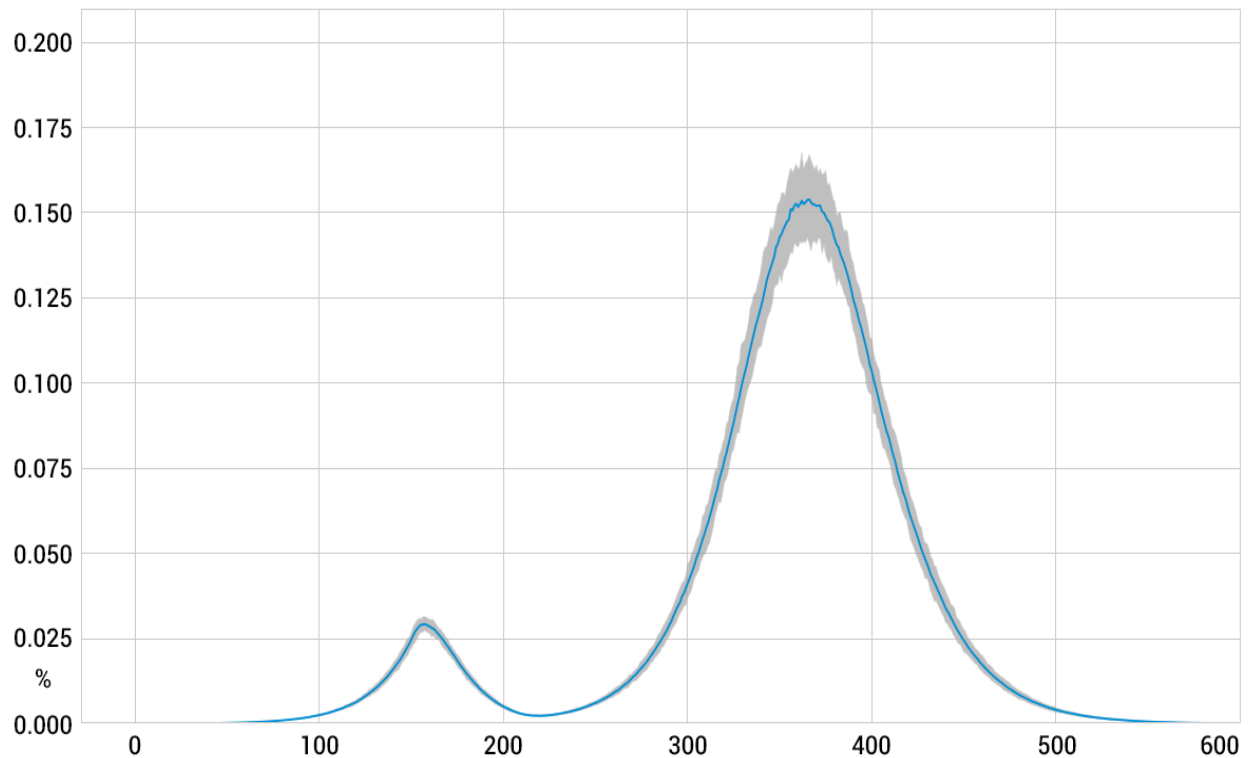


Рисунок 2.11 – Обсяги госпіталізації громадян для пізнього тригера та восьми тижневого режиму запровадження заходів

Порівнянні обсягів госпіталізації для ранніх і пізніх тригерів відбувалося для восьми і шістнадцяти тижнів запровадження заходів соціального дистанціювання. Використання більш раннього тригера призводить до меншого початкового піку госпіталізацій, ніж більш пізній тригер [37].

В свою чергу графік залежності обсягів госпіталізації для раннього тригера та шістнадцяти тижневого режиму запровадження заходів соціального дистанціювання [23] подано на рисунку 2.12.

І навпаки, другий пік модельованої епідемії буде вищим, коли використовується ранній тригер замість пізнішого. Тривалість періоду запровадження політики соціального дистанціювання лише затримує другий пік для ранніх та пізніх тригерів. Проте вона практично не впливає на розмір другого піку.

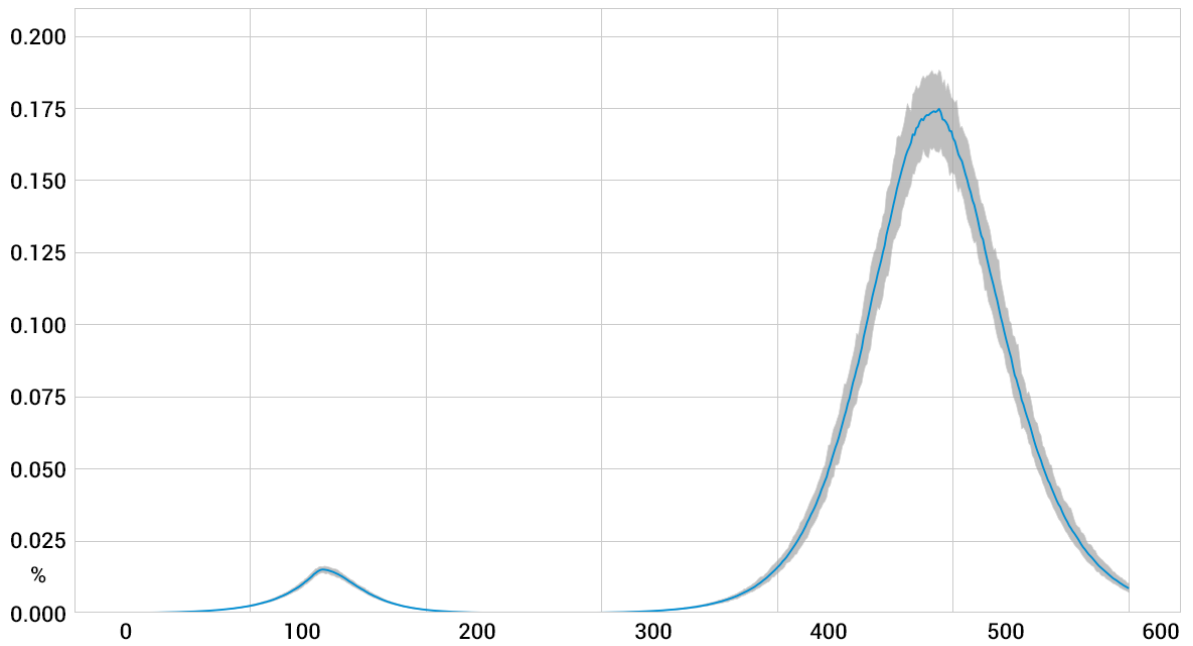


Рисунок 2.12 – Обсяги госпіталізації громадян для раннього тригера та шіснадцятитижневого режиму запровадження заходів

В свою чергу графік залежності обсягів госпіталізації для пізнього тригера та шіснадцятитижневого режиму запровадження заходів соціального дистанціювання [23] подано на рисунку 2.13.

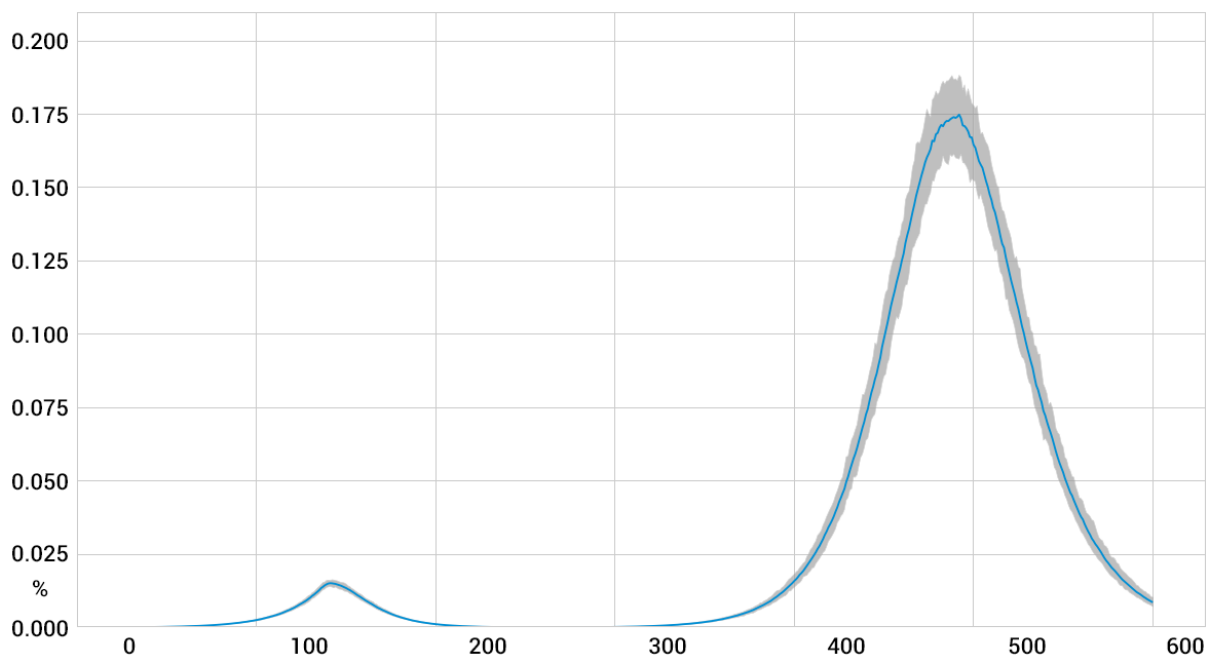


Рисунок 2.13 – Обсяги госпіталізації громадян для пізнього тригера та шіснадцятитижневого режиму запровадження заходів



Використання меншого коефіцієнта поширеності для ініціалізації процесу запровадження політики соціального дистанціювання призводить до зменшення першого піку замість наступного активатора [23]. Однак другий пік для раннього тригера більший чим пік для пізнього тригера. Тривалість заходів соціального дистанціювання так само впливає на час другого піку.

### 2.5.2 Вищий сценарій передачі

В регіонах з високою щільністю населення спостерігалось швидше зростання кількості випадків інфікування. Водночас у деяких регіонах з меншою щільністю населення спостерігалось різке зниження рівня інфікування. Пізніше збільшення випадків інфікування відбувалося при зростанні  $R_0 = 3.15$ , подібно до базового сценарію моделювання. Таким чином, моделюючи сценарій з більшою швидкістю передачі [23] зробимо припущення, що головна перевага соціального дистанціювання призначена для того щоб виграти час за рахунок затримки піку (див. таблицю 2.3).

Таблиця 2.3 – Характеристики піку зараження та час піку з різними сценаріями соціального дистанціювання для високого рівня зараження

$R_0=3.15$	Тривалість заходів	1-а хвиля		2-а хвиля	
		Пік, %	Час піку	Пік, %	Час піку
1	2	3	4	5	6
Без заходів		3.52	130-й день	–	–
Ранній тригер, 0.001	4 тижні	0.0008	23-й день	3.52	168-й день
	8 тижнів			3.50	208-й день
	16 тижнів			3.50	289-й день
	24 тижнів			3.48	368-й день
Пізній тригер, 0.5	4 тижні	0.30	89-й день	3.12	172-й день

Продовження таблиці 2.3

1	2	3	4	5	6
	8 тижнів			2.97	216-й день
	16 тижнів			2.93	301-й день
	24 тижнів			2.92	387-й день
Дуже пізній тригер, 1.0	4 тижнів	0.57	97-й день	2.76	174-й день
	8 тижнів			2.54	220-й день
	16 тижнів			2.46	312-й день
	24 тижнів			2.44	404-й день

Тривалість фази соціального дистанціювання не впливає або має мінімальний вплив на величину епідемічного піку другої хвилі [23]. Однак вона безпосередньо змінює терміни другої хвилі. Величина других піків сценарію з високим коефіцієнтом передачі для всіх тригерів більш ніж у двічі перевищує значення базового сценарію передачі.

В залежності від тривалості запровадженого режиму соціального дистанціювання керівники в галузі охорони здоров'я виграють час до другої хвилі. Цей термін коливається від одного місяця, коли використовується найменш агресивний сценарій, до дев'яти місяців, коли використовується найбільш агресивний сценарій. Затримка другого піку може сприяти збільшенню місткості та рівня готовності лікарень, проведенню досліджень вакцинації та покращенню рівня знань у сфері вірусології та в галузі охорони здоров'я.

### 2.5.3 Нижчий сценарій передачі

Для спалаху з низькою швидкістю передачі досліджувана модель припускає, що головна перевага соціального дистанціювання в умовах

пандемії, подібно до базового сценарію та сценарію високої передачі, полягає в тому, щоб виграти час за рахунок затримки піку [23] (див. таблицю 2.4).

Таблиця 2.4 – Загальна величина піку зараження та час піку з різними сценаріями соціального дистанціювання без закриття як базової лінії

$R_0=1.5$	Тривалість заходів	1-а хвиля		2-а хвиля	
		Пік, %	Час піку	Пік, %	Час піку
Без заходів		0.39	432-й день	–	–
Ранній тригер, 0.001	4 тижні	0.0003	19-й день	0.38	538-й день
	8 тижнів				>600 днів
	16 тижнів				>600 днів
	24 тижнів				>600 днів
Пізній тригер, 0.5	4 тижні	0.045	260-й день	0.34	551-й день
	8 тижнів				>600 днів
	16 тижнів				>600 днів
	24 тижнів				>600 днів
Дуже пізній тригер, 1.0	4 тижнів	0.08	294-й день	0.30	556-й день
	8 тижнів				>600 днів
	16 тижнів				>600 днів
	24 тижнів				>600 днів

Однак для сценарію низького рівня передачі інфекційних захворювань пікова величина, навіть без втручання, буде порівняно з високою порівняно з базовою швидкістю передачі [23]. Крім того, час настання піку у випадку низької швидкості передачі інфекційних захворювань набагато пізніший, ніж у випадку базової передачі. Зокрема, 432-й день проти 226-го дня. До цього часу місткість лікарень вже може бути достатньою для забезпечення оперативного реагування або може бути збільшена до пікового часу, щоб

покрити пікову величину 0,39%. В загальному випадку, тривалість періоду закриття повинна залежати від доступних додаткових потужностей закладів охорони здоров'я, необхідних для роботи з пацієнтами в умовах піку пандемії.

## **2.6 Висновок до другого розділу**

В другому розділі кваліфікаційної роботи виконано проєктування інструментів аналізу рішень. Описано дані, що використані для підтримки прийняття рішень в умовах пандемії. Подано опис моделі поширення інфекційних захворювань в умовах пандемії. Досліджено моделювання процесів прийняття рішень щодо запровадження соціального дистанціювання громадян в умовах пандемії. Проведено аналіз змодельованих сценаріїв розвитку пандемії.

### 3 ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ПРО ЗАПРОВАДЖЕННЯ ТА ЗНЯТТЯ ЗАХОДІВ СОЦІАЛЬНОГО ДИСТАНЦІЮВАННЯ

Структурована за віком компартментальна модель дозволяє оцінювання кожної окремої вікової групи водночас із загальною популяцією [36]. Ця функція дозволяє досліджувати вразливість окремих груп громадян з високими показниками ризику. При цьому доцільно порівнювати кумулятивну частоту спалахів (CAR), відсоток смертей та пік госпіталізації в кожній віковій групі окремо для всіх змодельованих сценаріїв передачі інфекційних захворювань в умовах пандемії. На рисунку 3.1 подано відсоток смертей для кожної вікової групи для різних змодельованих сценаріїв передачі інфекційних захворювань в умовах пандемії [23].

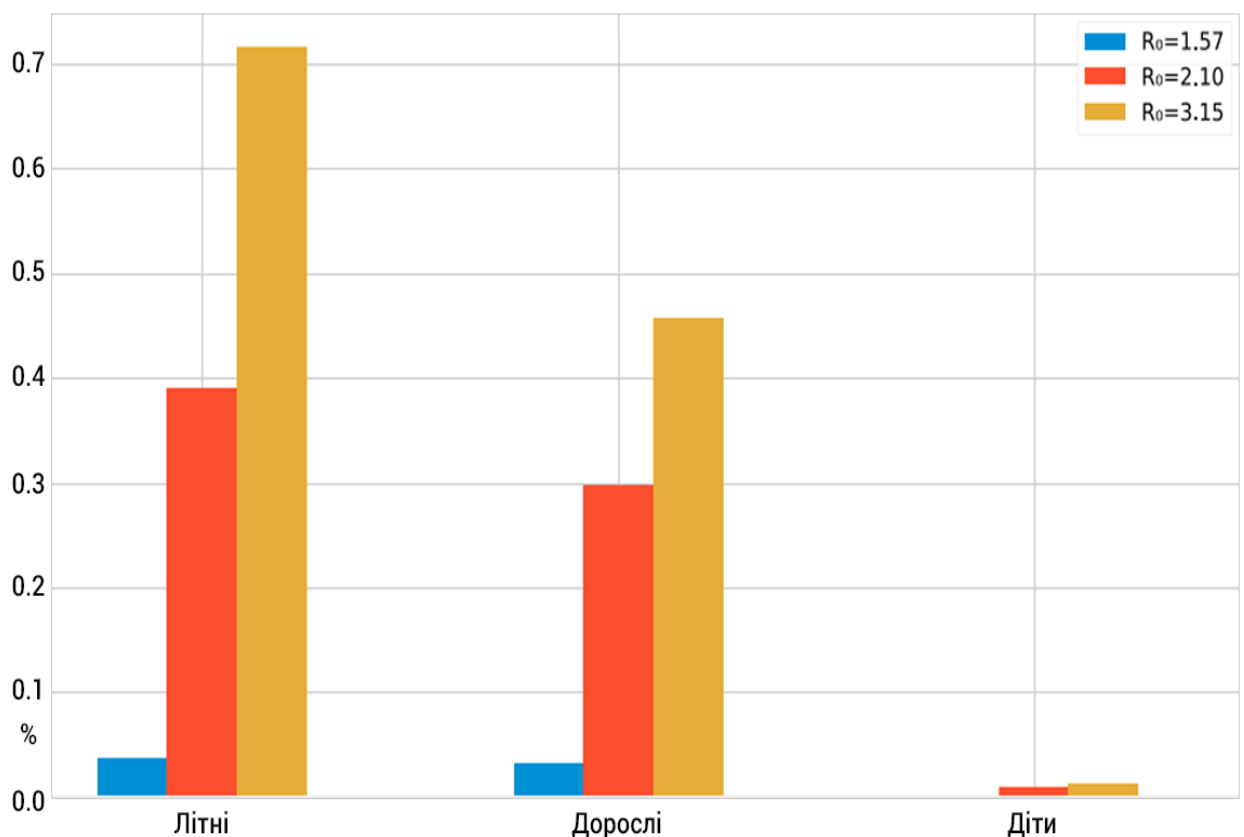


Рисунок 3.1 – Сумарна кількість смертей для різних значень  $R_0$  по вікових групах

При цьому, для кожної вікової групи, соціальне дистанціювання спрацьовує тоді, коли кумулятивна поширеність інфекційного захворювання досягає пів процента протягом восьми тижнів.

Небезпека пандемії для літніх груп населення є найбільшою серед всіх змодельованих потенційних сценаріїв передачі [38]. Зокрема, у міру зростання швидкості передачі інфекції кумулятивний відсоток смертності серед літнього населення різко зростає. Це свідчить, що для регіонів з високою щільністю населення потрібно приділяти більше уваги групам віковим громадян підвищеного ризику.

Змодельовані ранні та пізні тригери призводять до різних показників смертності. Порівняння різних стратегій запровадження [23] для всіх режимів соціального дистанціювання та різні тригерні рівні подано в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Результати моделювання стратегій запровадження режимів соціального дистанціювання

<b>R0</b>	<b>Тригер,%</b>	<b>Смертність,%</b>	<b>Пік госпіталізації,%</b>	<b>CAR</b>	<b>Безсимптомний CAR</b>
1.57	–	0.135	0.051	18.203	22.191
1.57	0.001	0.0003	0.0001	0.048	0.060
2.57	0.5	0.006	0.005	0.837	1.020
1.57	1.0	0.012	0.010	1.613	1.966
2.1	–	0.270	0.197	33.587	40.914
2.1	0.001	0.268	0.197	33.453	40.812
2.1	0.5	0.261	0.174	32.618	39.797
2.1	1.0	0.251	0.153	31.550	38.450
3.15	–	0.438	0.522	49.125	59.829
3.15	0.001	0.437	0.521	49.147	59.865
3.15	0.5	0.428	0.436	48.147	58.650
3.15	1.0	0.421	0.365	47.240	57.547

В таблиці подано коефіцієнт смертності, максимальний рівень госпіталізації, кумулятивний рівень нападів (CAR) та кумулятивний рівень нападу, включаючи безсимптомні випадки для змодельованого шістнадцятитижневого запровадження заходів соціального дистанціювання.

Ранні тригери призводять до відносно нижчого рівня смертності при низькому рівні передачі [34]. Водночас, пізній тригер призводить до більшого рівня смертності (див. табл. 3.1). Результати подано для змодельованого шістнадцятитижневого запровадження заходів соціального дистанціювання. Однак прогнозовані смертельні випадки для змодельованого базового сценарію та сценаріїв з вищою швидкістю передачі будуть нижчими при використанні більш пізніх тригерних рівнів. Додатковий аналіз матеріалів засвідчив, що до запровадження шістнадцятитижневого запровадження заходів соціального дистанціювання, при всіх рівнях передачі відсоток смертності зменшується [23] при збільшенні тригерного рівня (див. таблицю 3.2).

Таблиця 3.2 – Характеристики сценаріїв при мінімальному CAR

	<b>Поріг</b>	<b>Закриття</b>	<b>Скорочення,%</b>
$R_0 = 1.57$	1%	4 тижні	- 0.296
$R_0 = 1.57$	1%	8 тижнів	- 0.779
$R_0 = 1.57$	Виходить за межі діапазону 600 днів		
$R_0 = 1.57$	Виходить за межі діапазону 600 днів		
$R_0 = 2.10$	1%	4 тижні	- 0.029
$R_0 = 2.10$	1%	8 тижнів	- 0.040
$R_0 = 2.10$	1%	16 тижнів	- 0.061
$R_0 = 2.10$	1%	24 тижні	- 0.749
$R_0 = 3.15$	1%	4 тижні	- 0.027
$R_0 = 3.15$	1%	8 тижнів	- 0.033
$R_0 = 3.15$	1%	16 тижнів	- 0.038
$R_0 = 3.15$	1%	24 тижні	- 0.041

Характеристики різних сценаріїв при мінімальній смертності [23] подано в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Характеристики сценаріїв при мінімальній смертності

	<b>Поріг</b>	<b>Закриття</b>	<b>Скорочення,%</b>
$R_0 = 1.57$	1%	4 тижні	- 0.326
$R_0 = 1.57$	1%	8 тижнів	- 0.791
$R_0 = 1.57$	Виходить за межі діапазону 600 днів		
$R_0 = 1.57$	Виходить за межі діапазону 600 днів		
$R_0 = 2.10$	1%	4 weeks	- 0.030
$R_0 = 2.10$	1%	8 weeks	- 0.041
$R_0 = 2.10$	1%	16 weeks	- 0.070
$R_0 = 2.10$	1%	24 weeks	- 0.781
$R_0 = 3.15$	1%	4 weeks	- 0.027
$R_0 = 3.15$	1%	8 weeks	- 0.034
$R_0 = 3.15$	1%	16 weeks	- 0.037
$R_0 = 3.15$	1%	24 weeks	- 0.041

Різні тригери закриття та показники тривалості для трьох швидкостей передачі інфекційних захворювань мінімізують сукупну швидкість атаки (CAR) так і загальний рівень смертності внаслідок пандемії [37]. Слід зауважити, що незалежна мінімізація CAR та загальної смертності внаслідок пандемії призводять до подібних сценаріїв.

Щоб контролювати швидко зростаючі спалахи пандемії, чиновники в галузі охорони здоров'я та державні інституції формують розпорядження про створення карантинних центрів. Незважаючи на пом'якшення спалахів пандемії завдяки запровадженню заходів соціального дистанціювання та відкриттю карантинних центрів, вона спричиняє значні економічні та соціальні наслідки. Запровадження заходів соціального дистанціювання



через COVID-19 призводить в окремих регіонах, локаціях або державах до зростання рівня безробіття [38].

Для формування можливих стратегій відновлення після запроваджених в умовах пандемії заходів соціального дистанціювання потрібно провести оцінювання двоетапної стратегії відновлення. Зокрема, порівняти цю стратегію з двома основними альтернативами:

- 1) без закриття, тобто без соціального дистанціювання;
- 2) негайне повторне відкриття, тобто без фаз.

Потрібно проаналізувати результати моделювання сценаріїв:

- 1) відсутність закриття;
- 2) негайне відновлення;
- 3) повторне відкриття з фазами для спалаху пандемії з середньою швидкістю зростання.

На рисунку 3.2 подано результати моделювання повторного відкриття з фазами тривалістю вісім тижнів.

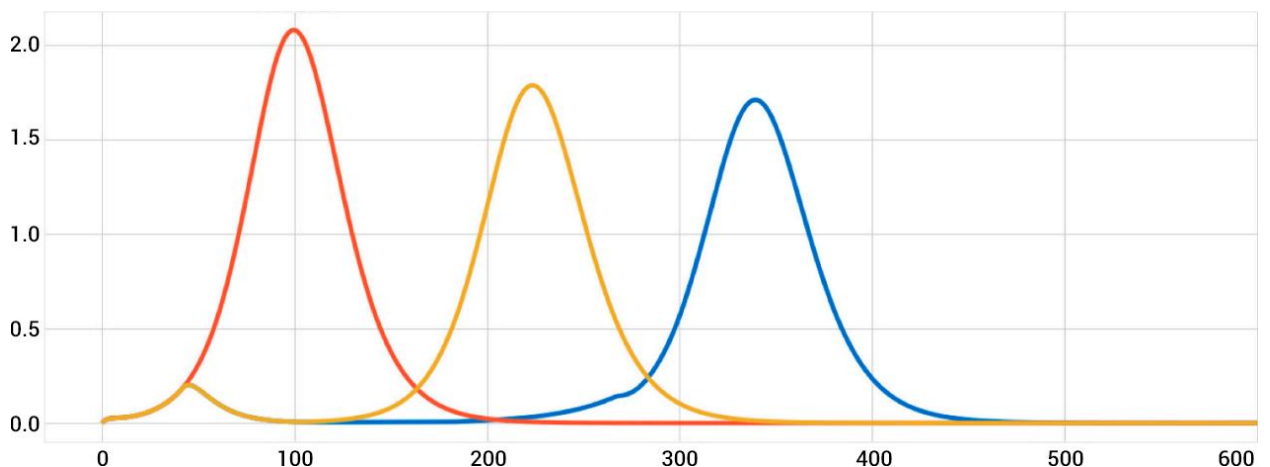


Рисунок 3.2 – Моделювання повторного відкриття з фазами тривалістю впродовж восьми тижнів

Стратегія без жодного впровадженого соціального дистанціювання, позначеного червоною лінією. Стратегія негайного повторного відкриття повертається до початкових показників контактів для всіх вікових груп зразу

після восьми тижнів закриття – позначено жовтою лінією. Графік моделювання для цієї стратегії подано на рисунку 3.3 [23]. Стратегія повторного відкриття з фазами, позначена блакитною лінією, відповідає повторному відкриттю з фазами впродовж восьми тижнів.

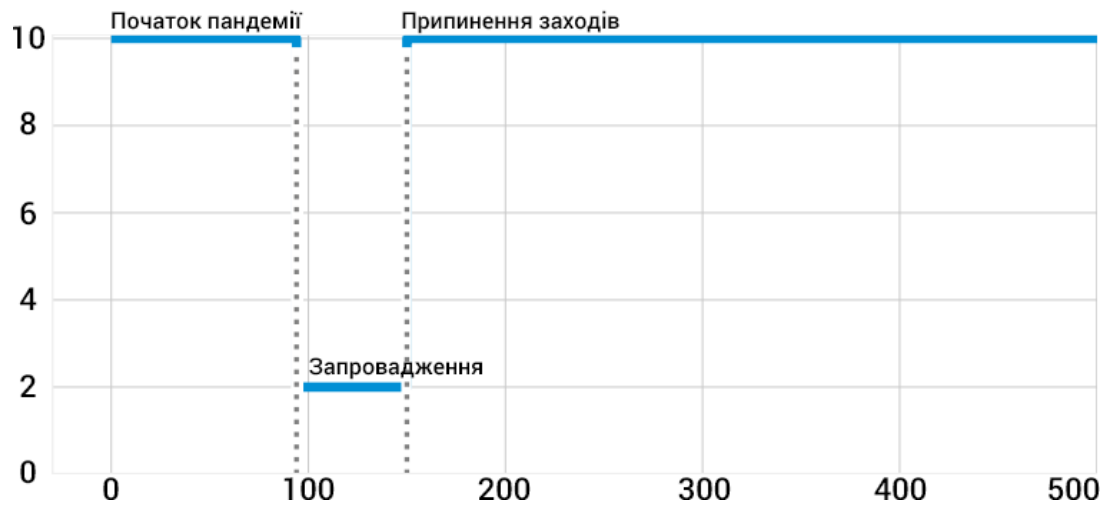


Рисунок 3.3 – Результати моделювання сценарію негайного повторного відкриття впродовж восьми тижнів

Графік моделювання для стратегії повторного відкриття з фазами подано на рисунку 3.4 [23].

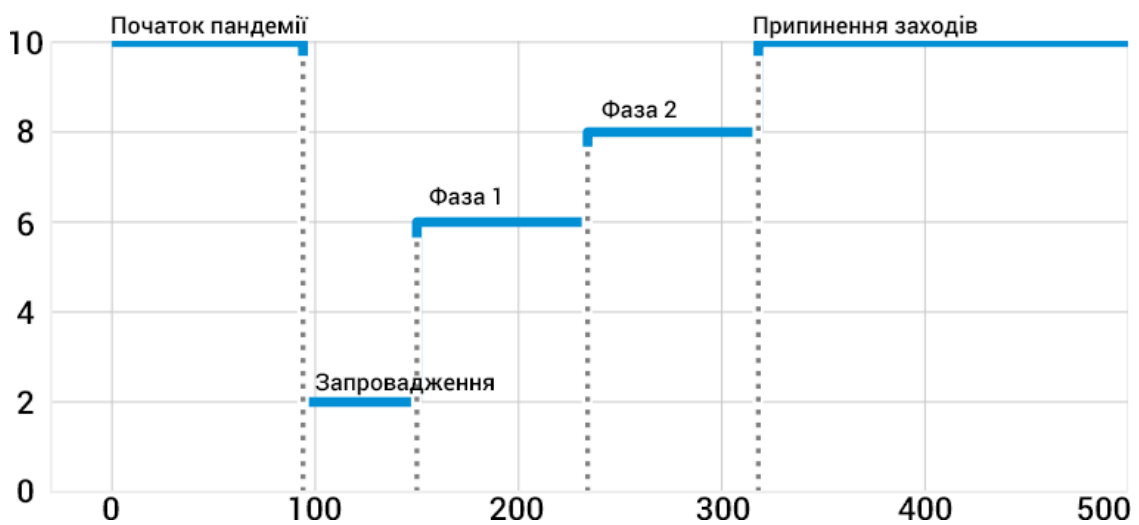


Рисунок 3.4 – Результати моделювання стратегії повторного відкриття з фазами впродовж восьми тижнів

Після восьми тижнів соціального дистанціювання перший етап починається із збільшенням контактного коефіцієнта з певним співвідношенням [39]. Після першої фази буде восьмитижневий другий етап. Під час нього частота вірусної передачі зростає ще більше. Після другої фази початкова швидкість передачі інфекційних захворювань відновлюється. На рис. 3.4 спостерігається, що поетапне відновлення призводить до зменшення розмірів спалаху, тобто до меншої пікової величини пандемічного спалаху, ніж стратегія без закриття та стратегія негайного повторного відкриття. Також доцільно провести оцінювання стратегії повторного відкриття з твядцятичотирьохтижневими фазами (див. рисунок 3.5) [23].

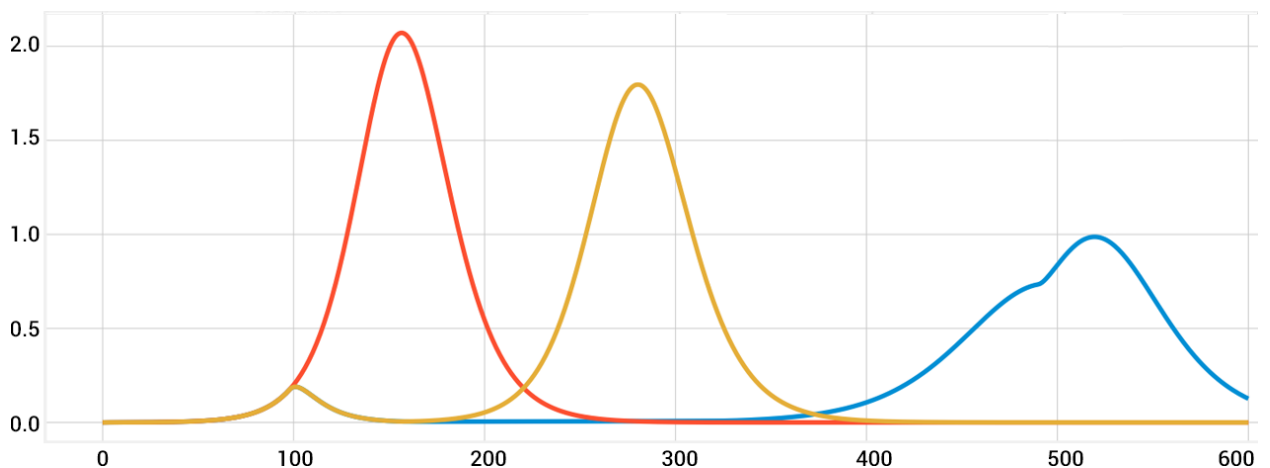


Рисунок 3.5 – Моделювання повторного відкриття з фазами тривалістю впродовж двадцяти чотирьох тижнів

Він демонструє, що вплив пандемії пом'якшується внаслідок запровадження довгострокових фаз соціального дистанціювання. На рис. 3.5 показано різні сценарії для базового сценарію передачі – червона лінія, та дві можливі довжини фаз повторного відкриття. Жовта лінія – негайне повторне відкриття, а блакитна лінія – повторне відкриття з фазами. Продемонстровано результати моделювання спалахів з різними темпами зростання та з різною можливою тривалістю фаз повторного відкриття.

Графік моделювання для стратегії [23] для двадцяти чотирьох тижнів запровадження заходів соціального дистанціювання подано на рисунку 3.6.

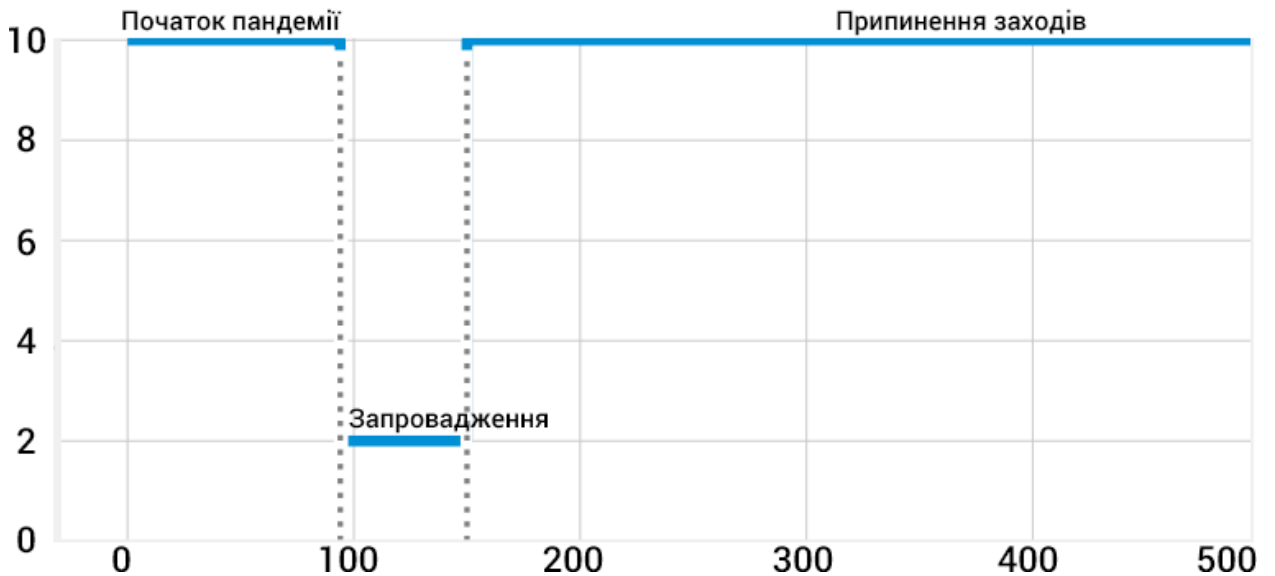


Рисунок 3.6 – Результати моделювання сценарію негайного повторного відкриття впродовж двадцяти чотирьох тижнів

Графік моделювання для стратегії [23] повторного відкриття з фазами впродовж двадцяти чотирьох тижнів подано на рисунку 3.7.

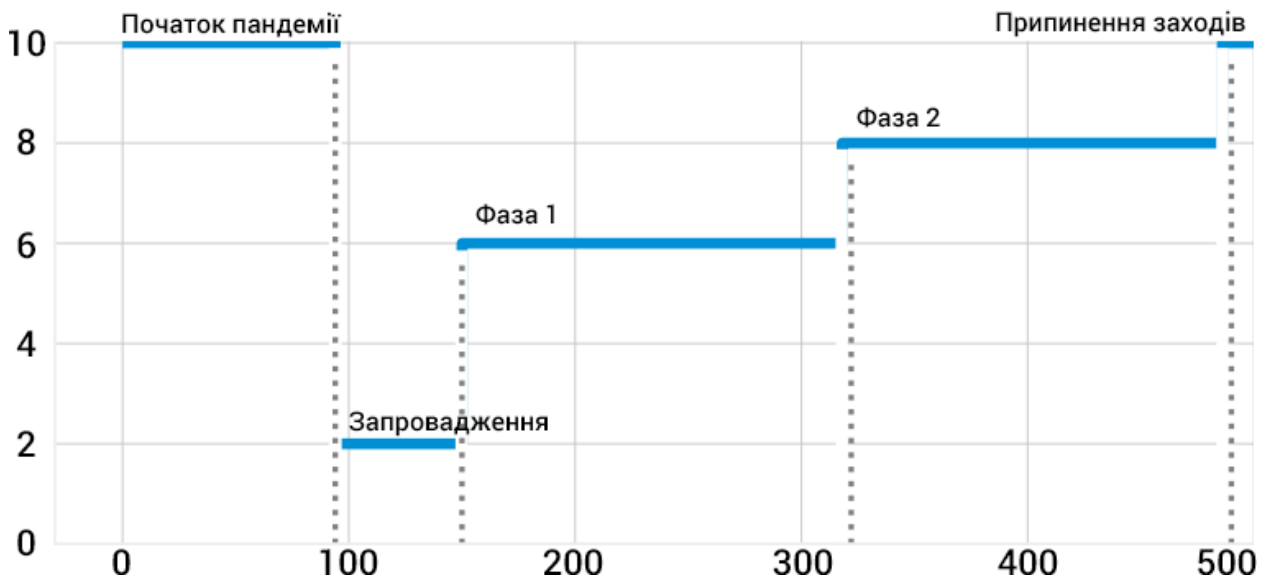


Рисунок 3.7 – Результати моделювання стратегії повторного відкриття з фазами впродовж двадцяти чотирьох тижнів

На рисунку 3.8 подано модель з тривалістю першої фази впродовж чотирьох тижнів та другої фази [23] впродовж чотирьох тижнів для пандемічного спалаху з різною швидкістю передачі.

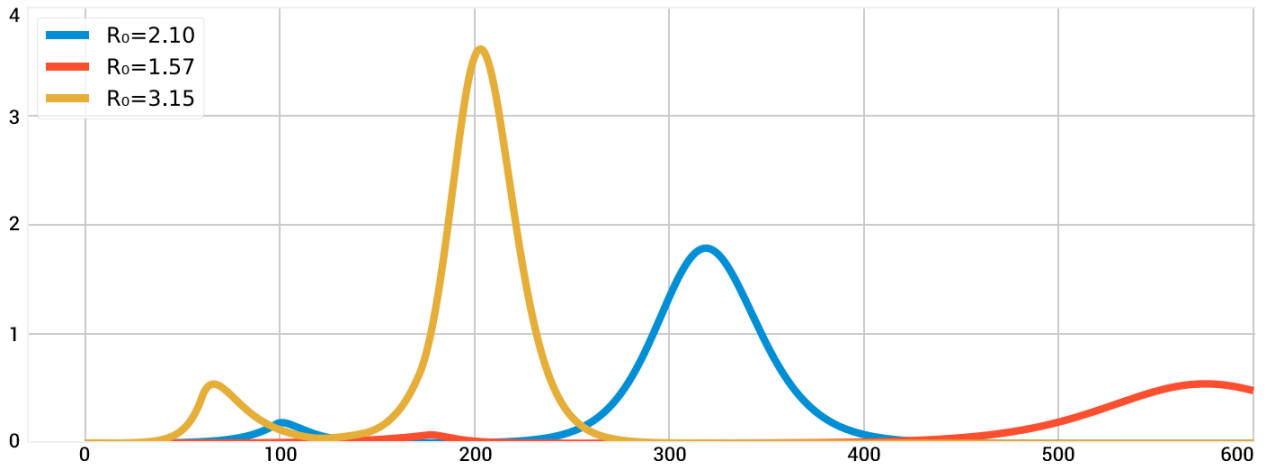


Рисунок 3.8 – Результати моделювання стратегії повторного відкриття з тривалістю першої фази впродовж чотирьох тижнів та другої фази впродовж чотирьох тижнів

Для всіх розглянутих довжин, чим довша тривалість фази запровадження соціального дистанціювання в умовах пандемії, тим слабше навантаження на медичну систему внаслідок спалаху. При цьому пік спостерігатиметься пізніше. Зокрема, пік зменшується більш ніж наполовину при запровадженні двадцяти чотирьох тижневих фаз замість сотирьохтижневих фаз. Результати досліджених моделей впливають на заповнення лікарень та демонструють наскільки потрібно збільшувати їх місткість відповідно до затримки піку вірусної інфекції за рахунок соціального дистанціювання [37]. Подані вище графіки також дозволяють оцінити розмір другого піку в залежності від тривалості запровадження заходів соціального дистанціювання.

На рисунку 3.9 подано модель з тривалістю першої фази впродовж восьми тижнів та другої фази впродовж восьми тижнів [23] для пандемічного спалаху з різною швидкістю передачі.

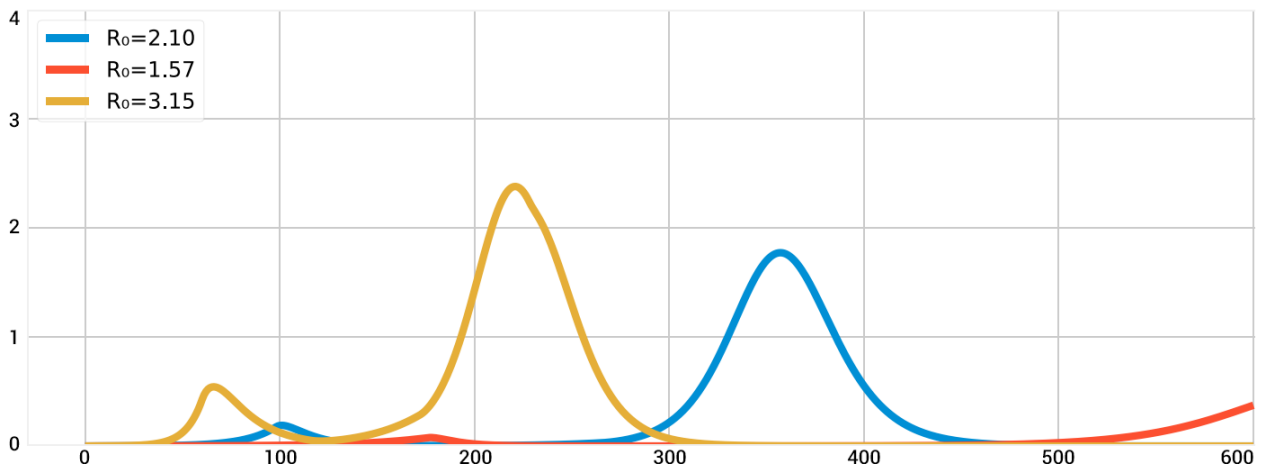


Рисунок 3.9 – Результати моделювання стратегії повторного відкриття з тривалістю першої фази впродовж восьми тижнів та другої фази впродовж восьми тижнів

Для змодельованого високого рівня передачі інфекційних захворювань та для всіх розглянутих тривалостей запровадження заходів соціального дистанціювання, чим довша тривалість фази, тим менші розміри епідемії. При цьому незначно зміщується час піку для різних фаз повторного відкриття нормальних режимів, а загальний спалах пандемії набагато менший.

Для сценаріїв з фазами повторного відкриття на початку шістнадцяти-тижневим та двадцятичотирьох-тижневим періодом закриття відбувається затримка часу піку на наступні шістсот днів. Як наслідок, можна стверджувати, що система охорони здоров'я зможе сприйняти повторне відкриття з мінімальною врахованою довжиною, тобто чотирьох-тижневим періодом закриття. Для регіонів з низьким рівнем передачі та достатньою кількістю лікарень відносно раніше відновлення може бути доцільною стратегією [38].

На рисунку 3.10 подано модель [23] з тривалістю першої фази впродовж шістнадцяти тижнів та другої фази впродовж шістнадцяти тижнів для пандемічного спалаху з різною швидкістю передачі.

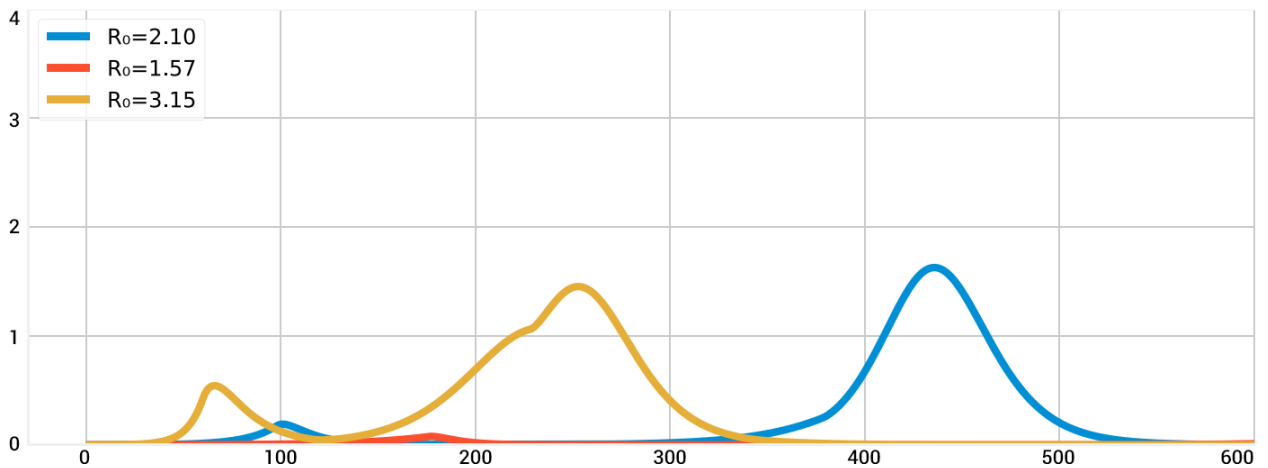


Рисунок 3.10 – Результати моделювання стратегії повторного відкриття з тривалістю першої фази впродовж шістнадцяти тижнів та другої фази впродовж шістнадцяти тижнів

На рисунку 3.11 подано модель з тривалістю першої фази впродовж шістнадцяти тижнів та другої фази впродовж шістнадцяти тижнів [23] для пандемічного спалаху з різною швидкістю передачі.

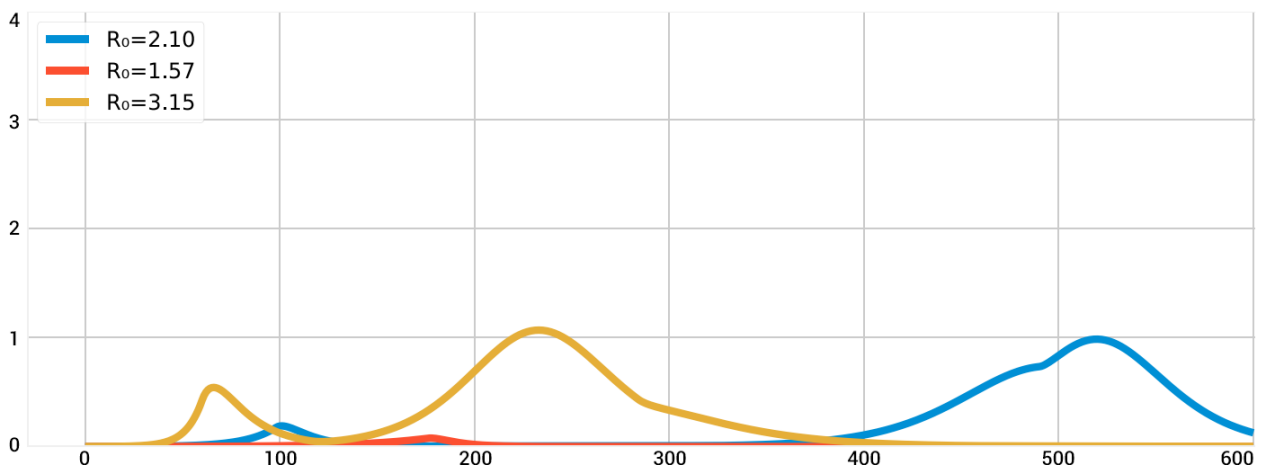


Рисунок 3.11 – Результати моделювання стратегії повторного відкриття з тривалістю першої фази впродовж двадцяти чотирьох тижнів та другої фази впродовж двадцяти чотирьох тижнів

Для нижчої швидкості передачі потрібно запроваджувати восьмитижневе закриття, яке призводить до значно більшого зниження CAR. Для зниження загальної кількості загиблих доцільно проводити

чотирьохтижневе запровадження заходів соціального дистанціювання громадян. Для середньої швидкості передачі, тобто базової лінії, спостерігається, що двадцятичотирьох-тижневе закриття призводить до значного зниження CAR та загальної кількості смертей. При вищій швидкості передачі двадцятичотирьох-тижневе закриття призводить до зниження CAR до мінімальних показників. Хоча при цьому дуже малі показники зменшення загальної кількості загиблих. Граничне скорочення показників внаслідок подальшого збільшення періоду дії заходів соціального дистанціювання є доволі незначним. Для забезпечення зменшення показників, подібних до інших швидкостей передачі, слід розглянути сценарії тривалого запровадження заходів соціального дистанціювання громадян.

### **3.1 Висновок до третього розділу**

В третьому розділі кваліфікаційної роботи описано особливості моделювання процесів прийняття рішень про запровадження та зняття заходів соціального дистанціювання. Проаналізовано вплив різних періодів запровадження та зняття заходів соціального дистанціювання на коефіцієнт поширення інфекцій, зміщення пандемічних піків та рівня смертності.



## **4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ**

### **4.1 Сучасні інформаційні технології та їх вплив на людину в умовах пандемії**

Тема кваліфікаційної роботи освітнього рівня «Магістр» присвячена дослідженню засобів аналітичного опрацювання в системах формування рекомендацій щодо соціального дистанціювання в умовах пандемії. Вплив інформаційних технологій на людину з кожним роком зростає. На даний час важко уявити будь-яку діяльність без використання інформаційних технологій. Активне формування і розвиток глобального інформаційного середовища активно сприяє прискоренню всіх процесів в людській діяльності. Як результат виникають нові вимоги та формуються певні умови життя, до яких людина повинна пристосуватися [40]. Значні в людському суспільстві спричинила пандемія.

На даний час існує обширний перелік інформаційних технологій, що розвиваються стрімкими темпами. ІТ-фахівці, як і будь-які інші працівники, повинні проходити навчання і перевірку знань з охорони праці або в навчальному центрі, або в самій організації. Якщо в ній є комісія з перевірки знань з охорони праці, атестованих в спеціалізованому навчальному центрі. Навчання охорони праці в організації проводять по самостійно розробленими програмами. Їх складають, спираючись на типові програми, а також з огляду на особливості галузі, в якій працює організація.

З метою належного правового забезпечення необхідно розширити та доповнити перелік основних професій комп'ютерної галузі у національному класифікаторі ДК-003-2010, а також підготувати відповідний випуск у кваліфікаційному довіднику посад фахівців ІТ-індустрії, що сприятиме вирішенню питань їх соціального захисту, пенсійного забезпечення, атестації робочих місць основних професій за умовами праці на предмет подальших

певних видів пільг та компенсацій за важкі шкідливі і небезпечні умови праці [41].

Важливим напрямом стосовно визначення професійної придатності фахівців з інформаційних технологій є проведення психофізіологічної експертизи відповідно до 5 статті Закону України «Про охорону праці».

Робота з комп'ютерами нового покоління характеризується певним психофізіологічними перенавантаженнями, втому зорового аналізатора, гіпокінезією, відсутність диференційованих норм праці при роботі з новою комп'ютерною технікою в залежності від віку, статі, категорії зорової роботи, режимів праці і відпочинку (протягом робочого дня, тижня, щорічного режиму відпусток).

Все це потребує розробки нових нормативно-правових актів з регламентації праці та відпочинку фахівців ІТ-індустрії і стандартів підприємств, центрів комп'ютерної техніки, центрів інформаційних технологій, сучасних комп'ютерних класів.

Особлива роль з точки зору збереження та відновлення здоров'я працюючих в комп'ютерній галузі належить попереднім та періодичним наглядам з подальшої психофізіологічної експертизи і встановленням професійної придатності при роботі з комп'ютерами нового покоління, який супроводжується виникненням певних факторів професійного ризику електротравматизму при їх ремонті та обслуговуванні. В цьому зв'язку необхідне запровадження експертизи на предмет безпечної експлуатації ПЕОМ, тобто офіційне підтвердження фактичних параметрів електробезпеки, їх відповідності вимогам нормативної документації фахівців, які проводять таку експертизу повинні пройти навчання і перевірку знань відповідно до вимог ДНАОП 0.00-8.20-99. За результатами експертизи повинні прийматися рішення про відповідність ПЕОМ нормам безпеки, терміни чергової експертизи, оформлюються протоколи вимірювань і випробувань, проведені у разі потреби розрахунки та експертний висновок.

Для підвищення розумової працездатності то зорової роботи повинна здійснюватися ергономічна оптимізація в рамках системи «оператор-термінал», яка сприятиме результативній фізичній та інтелектуальній працездатності і відновленню психосоматичного здоров'я фахівців ІТ-індустрії [42].

Заслуговує на увагу зарубіжний досвід створення у приміщеннях та в зоні їх розміщення на територіях підприємств спеціальних візуальних комфортних умов та забезпечення вимог виробничої естетики, дотримання норм рівнів виробничого шуму та акустичної тиші за межами офісу. Також дуже важливим є використання в офісних приміщеннях та кабінетах психофізіологічного розвантаження функціональної музики, яка сприяє попередженню перевтоми і підтриманню необхідного рівня розумової працездатності фахівців комп'ютерної галузі [43].

В цьому напрямі заслуговує на увагу створення при великих центрах інформаційних технологій кімнат (кабінетів) психофізіологічного розвантаження працівників галузі.

Зарубіжний досвід охорони праці при використанні новітніх інформаційних технологій та сучасного комп'ютерного обладнання передбачає з метою попередження наслідків монотонної праці, підвищення рівня рухової активності і покращення розумової працездатності фахівців ІТ-індустрії під час технологічних перерв участь у спеціальних облаштованих приміщеннях необхідним спортивним інвентарем та різними тренажерами відповідних фізичних вправ, індивідуальних тренінгових завдань відповідно до віку, статі та категорії зорової роботи. Такий підхід дозволяє зняти надлишкове психофізіологічне перевантаження, підвищити працездатність центральної нервової системи, попередити перевтому зорового аналізатора. Показана ефективність проведення різноманітних за своєю спрямованістю вправ робітників цієї галузі становить приблизно на 5-30% [44].

## **4.2 Організація оповіщення і зв'язку у надзвичайних ситуаціях техногенного та природного характеру**

Правовою основою організації оповіщення населення загрози чи виникненні надзвичайних ситуацій є Конституція України, Кодекс цивільного захисту України, постанова Кабінету Міністрів України від 27.09.2017 № 733 «Про затвердження Положення про організацію оповіщення про загрозу виникнення або виникнення надзвичайних ситуацій та зв'язку у сфері цивільного захисту», відповідні розпорядження обласної державної адміністрації та інші акти.

Одним із основних завдань Цивільного захисту України як державної системи органів управління, сил і засобів, які створені для організації і забезпечення захисту населення від наслідків надзвичайних ситуацій техногенного, природного та воєнного характеру є оповіщення населення про загрозу і виникнення надзвичайних ситуацій у мирний час і особливий період та постійне інформування його про наявну обстановку [45].

Система централізованого оповіщення представляє собою комплекс організаційно-технічних заходів, апаратури і технічних засобів оповіщення, засобів та каналів зв'язку, мереж дротового, радіо, телевізійного мовлення, призначених для своєчасного доведення сигналів та інформації з питань цивільного захисту до центральних і місцевих органів виконавчої влади, підприємств, установ, організацій і населення. Для зосередження уваги громадян перед передачею мовної інформації вмикаються сирени, інші сигнальні засоби. Їх звук означає попереджувальний сигнал «УВАГА ВСІМ».

Телерадіокомпанії незалежно від форми власності та радіотрансляційні вузли операторів телекомунікацій оприлюднюють повідомлення про загрозу виникнення або виникнення надзвичайних ситуацій, а також іншу інформацію з питань цивільного захисту (відомості про надзвичайні ситуації,

що прогножуються або виникли, межі їх поширення і наслідки, а також способи та методи захисту від них) на безоплатній основі.

Переривання трансляції програм мовлення для оповіщення населення здійснюється в автоматичному режимі за допомогою спеціальних технічних засобів, встановлених у апаратних телерадіокомпаній та на пунктах управління обласної державної адміністрації (в чергових службах органів місцевого самоврядування).

У разі неможливості переривання трансляції програм мовлення з пунктів управління обласних державних адміністрацій (чергових служб органів місцевого самоврядування) оповіщення населення здійснюється безпосередньо з радіотрансляційних вузлів, апаратних телерадіокомпаній відповідно до спільних інструкцій, які розробляються місцевими органами виконавчої влади або органами місцевого самоврядування за участю телерадіокомпаній.

За рівнями системи оповіщення поділяються на загальнодержавну автоматизовану систему централізованого оповіщення, територіальні автоматизовані системи централізованого оповіщення, місцеві автоматизовані системи централізованого оповіщення, а також спеціальні, локальні та об'єктові системи оповіщення.

Територіальна автоматизована система централізованого оповіщення функціонує в регіонах, областях та локаціях для забезпечення прийому сигналів та інформації від загальнодержавної автоматизованої системи централізованого оповіщення, оповіщення осіб керівного складу місцевих органів виконавчої влади, а також органів місцевого самоврядування, підприємств, установ, організацій, органів управління та сил цивільного захисту і населення через місцеві автоматизовані системи централізованого оповіщення та інші системи оповіщення у разі загрози виникнення або виникнення надзвичайних ситуацій.

## ВИСНОВКИ

В першому розділі кваліфікаційної роботи освітнього рівня «Магістр»:

– Описано пандемію та важливість заходів соціального дистанціювання громадян.

– Подано огляд та аналіз наукових літературних джерел.

– Досліджено варіанти запровадження політики соціального дистанціювання.

В другому розділі кваліфікаційної роботи:

– Виконано проектування інструментів аналізу рішень.

– Описано дані, що використані для підтримки прийняття рішень в умовах пандемії.

– Подано опис моделі поширення інфекційних захворювань в умовах пандемії.

– Досліджено моделювання процесів прийняття рішень щодо запровадження соціального дистанціювання громадян в умовах пандемії.

– Проведено аналіз змодельованих сценаріїв розвитку пандемії.

В третьому розділі кваліфікаційної роботи:

– Описано особливості моделювання процесів прийняття рішень про запровадження та зняття заходів соціального дистанціювання.

– Проаналізовано вплив різних періодів запровадження та зняття заходів соціального дистанціювання на коефіцієнт поширення інфекцій, зміщення пандемічних піків та рівня смертності.

У розділі «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях» описано сучасні інформаційні технології та їх вплив на людину в умовах пандемії. Розглянуто питання організації оповіщення і зв'язку у надзвичайних ситуаціях техногенного та природного характеру.

**ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ**

- 1 CDC, Centers for Disease Control and Prevention, Coronavirus disease 2019 (COVID-19) how COVID-19 spreads. <https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/about/transmission.html>, 2020.
- 2 CDC, Centers for Disease Control and Prevention, CDC COVID Data Tracker. <https://www.cdc.gov/covid-data-tracker/#cases>, 2020.
- 3 R. Verity, L.C. Okell, I. Dorigatti, P. Winskill, C. Whittaker, N. Imai, G. Cuomo-Dannenburg, H. Thompson, P.G.T. Walker, H. Fu, A. Dighe, J.T. Griffin, M. Baguelin, S. Bhatia, A. Boonyasiri, A. Cori, Z. Cucunuba, R. FitzJohn, K. Gaythorpe, W. Green, A. Hamlet, W. Hinsley, D. Laydon, G. Nedjati-Gilani, S. Riley, S. van Elsland, E. Volz, H. Wang, Y. Wang, X. Xi, C.A. Donnelly, A. C. Ghani, N.M. Ferguson, Estimates of the severity of coronavirus disease 2019: a model-based analysis, *Lancet Infect. Dis.* 20 (6) (2020) 669–677.
- 4 Ashish Gupta, Ramesh Sharda, Improving the science of healthcare delivery and informatics using modeling approaches, *Decis. Support. Syst.* 55 (2013) 423–427.
- 5 Qun Li, Xuhua Guan, Peng Wu, Xiaoye Wang, Lei Zhou, Yeqing Tong, Ruiqi Ren, Kathy S.M. Leung, Eric H.Y. Lau, Jessica Y. Wong, et al., Early transmission dynamics in Wuhan, China, of novel coronavirus–infected pneumonia, *N. Engl. J. Med.* 382 (2020) 1199–1207.
- 6 Stephen A. Lauer, Kyra H. Grantz, Qifang Bi, Forrest K. Jones, Qulu Zheng, Hannah R. Meredith, Andrew S. Azman, Nicholas G. Reich, Justin Lessler, The incubation period of coronavirus disease 2019 (COVID-19) from publicly reported confirmed cases: estimation and application, *Ann. Intern. Med.* 172 (9) (2020) 577–582.
- 7 N.M. Linton, T. Kobayashi, Y. Yang, K. Hayashi, A.R. Akhmetzhanov, S.M. Jung, B. Yuan, R. Kinoshita, H. Nishiura, Incubation period and other epidemiological characteristics of 2019 novel coronavirus infections with right

truncation: a statistical analysis of publicly available case data, *J. Clin. Med.* 9 (538) (2020).

8 Charles Courtemanche, Joseph Garuccio, Anh Le, Joshua Pinkston, Aaron Yelowitz, Strong social distancing measures in the United States reduced the COVID-19 growth rate, *Health Aff.* 39 (7) (2020).

9 Laura Fumanelli, Marco Ajelli, Stefano Merler, Neil M. Ferguson, Simon Cauchemez, Model-based comprehensive analysis of school closure policies for mitigating influenza epidemics and pandemics, *PLoS Comput. Biol.* 12 (01) (2016) 1–15.

10 M.Z. Gojovic, B. Sander, D. Fisman, M.D. Krahn, C.T. Bauch, Modelling mitigation strategies for pandemic (H1N1) 2009, *CMAJ* 181 (10) (2009) 673–680.

11 C. Ciavarella, L. Fumanelli, S. Merler, C. Cattuto, M. Ajelli, School closure policies at municipality level for mitigating influenza spread: a model-based evaluation, *BMC Infect Dis* (2016) 16.

12 Ozgur M. Araz, Tsan-Ming Choi, David L. Olson, F. Sibel Salman, Role of analytics for operational risk management in the era of big data, *Decis. Sci.* 51 (6) (2020) 1320–1346.

13 Adrian Ramirez-Nafarrate, Ozgur M. Araz, John W. Fowler, Decision assessment algorithms for location and capacity optimization under resource shortages, *Decis. Sci.* 52 (1) (2021) 142–181.

14 Lotty E. Duijzer, Willem L. van Jaarsveld, Jacco Wallinga, Rommert Dekker, Dose- optimal vaccine allocation over multiple populations, *Prod. Oper. Manag.* 27 (1) (2018) 143–159.

15 Lotty Evertje Duijzer, Willem van Jaarsveld, Rommert Dekker, The benefits of combining early aspecific vaccination with later specific vaccination, *Eur. J. Oper. Res.* 271 (2) (2018) 606–619.

16 Jeff Griffiths, Dawn Lowrie, Janet Williams, An age-structured model for the AIDS epidemic, *Eur. J. Oper. Res.* 124 (1) (2000) 1–14.



17 Anna Teytelman, Richard C. Larson, Modeling influenza progression within a continuous-attribute heterogeneous population, *Eur. J. Oper. Res.* 220 (1) (2012) 238–250.

18 Ozgur M. Araz, Tim Lant, John W. Fowler, Megan Jehn, Simulation modeling for pandemic decision making: a case study with bi-criteria analysis on school closures, *Decis. Support. Syst.* 55 (2) (2013) 564–575.

19 Hina Arora, T.S. Raghu, Ajay Vinze, Resource allocation for demand surge mitigation during disaster response, *Decis. Support. Syst.* 50 (1) (2010) 304–315.

20 M. Nadj, A. Maedche, C. Schieder, The effect of interactive analytical dashboard features on situation awareness and task performance, *Decis. Support. Syst.* 135 (2020) 113322.

21 Bruce Y. Lee, S.T. Brown, P. Cooley, et al., Simulating school closure strategies to mitigate an influenza epidemic, *J. Pub. Health Manag. Prac.* 16 (3) (2010) 252–261.

22 Beate Sander, Jeffrey C. Kwong, Chris T. Bauch, Andreas Maetzel, Allison McGeer, Janet M. Raboud, Murray Krahn, Economic appraisal of Ontario's universal influenza immunization program: a cost-utility analysis, *PLoS Med.* 7 (4) (2010) 1–11.

23 Ertem, Zeynep, Ozgur M. Araz, and Mayteé Cruz-Aponte. "A decision analytic approach for social distancing policies during early stages of COVID-19 pandemic." *Decision Support Systems* (2021): 113630.

24 Ozgur M. Araz, Paul Damien, David A. Paltiel, Sean Burke, Bryce van de Geijn, Alison Galvani, Lauren Ancel Meyers, Simulating school closure policies for cost effective pandemic decision making, *BMC Public Health* 12 (1) (2012) 449.

25 Blackmon, Lester, et al. "Rapid development of a decision support system to alleviate food insecurity at the Los Angeles regional food bank amid the COVID-19 pandemic." *Production and Operations Management* (2021).

26 Ristaino, Jean B., et al. "The persistent threat of emerging plant disease pandemics to global food security." *Proceedings of the National Academy of Sciences* 118.23 (2021).

27 Joël Mossong, Niel Hens, Mark Jit, Philippe Beutels, Kari Auranen, Rafael Mikolajczyk, Marco Massari, Stefania Salmaso, Gianpaolo Scalia Tomba, Jacco Wallinga, et al., Social contacts and mixing patterns relevant to the spread of infectious diseases, *PLoS Med.* 5 (3) (2008).

28 Ruiyun Li, Sen Pei, Bin Chen, Yimeng Song, Tao Zhang, Wan Yang, Jeffrey Shaman, Substantial undocumented infection facilitates the rapid dissemination of novel coronavirus (SARS-CoV-2), *Science* 368 (6490) (2020) 489–493.

29 Kenji Mizumoto, Katsushi Kagaya, Alexander Zarebski, Gerardo Chowell, Estimating the asymptomatic proportion of coronavirus disease 2019 (COVID-19) cases on board the diamond princess cruise ship, Yokohama, Japan, 2020, *Eurosurveillance* 25 (10) (2020) 2000180.

30 Roy M. Anderson, R.M. May, *Infectious Diseases of Humans*. 1991, Oxford Science Publication, New York, 1991.

31 Nedialko Dimitrov, Sebastian Goll, Lauren Ancel Meyers, Babak Pourbohloul, Nathaniel Hupert, Optimizing tactics for use of the US antiviral strategic national stockpile for pandemic (H1N1) influenza, 2009, *PLoS Currents* 1 (2009).

32 Goldberg, David. "Programming in a pandemic: Attaining academic integrity in online coding courses." *Communications of the Association for Information Systems* 48.1 (2021): 6.

33 Ivanov, Dmitry, and Alexandre Dolgui. "OR-methods for coping with the ripple effect in supply chains during COVID-19 pandemic: Managerial insights and research implications." *International Journal of Production Economics* 232 (2021): 107921.

34 de Araújo Costa, Igor Pinheiro, et al. "Choosing flying hospitals in the fight against the COVID-19 pandemic: structuring and modeling a complex problem using the VFT and ELECTRE-MOr methods." *IEEE Latin America Transactions* 19.6 (2021): 1099-1106.

35 Gholamzadeh, Marsa, Hamidreza Abtahi, and Reza Safdari. "Suggesting a framework for preparedness against the pandemic outbreak based on medical informatics solutions: a thematic analysis." *The International Journal of health planning and management* 36.3 (2021): 754-783.

36 Smirnov, Alexander, et al. "Intelligent decision support during hospitalization in a pandemic: Methodology and process model." *2021 28th Conference of Open Innovations Association (FRUCT)*. IEEE, 2021.

37 Madad, Syra, et al. "Ready or not, patients will present: improving urban pandemic preparedness." *Disaster Medicine and Public Health Preparedness* 15.3 (2021): 267-270.

38 Marques, Joao Alexandre Lobo, et al. "Prediction for Decision Support During the COVID-19 Pandemic." *Predictive Models for Decision Support in the COVID-19 Crisis*. Springer, Cham, 2021. 1-13.

39 Hackl, W. O., and A. Hoerbst. "Clinical Information Systems Research in the Pandemic Year 2020." *Yearbook of Medical Informatics* 30.01 (2021): 134-140.

40 Дубровский, Д.И. Глобальное будущее 2045. Конвергентные технологии (НБИКС) и трансгуманистическая эволюция / Д.И. Дубровский. – М., 2013 – 272 с.

41 Вдосконалення охорони праці в ІТ-галузі. Наукова робота під шифром «ІТ-індустрія». 2019. [https://www.khadi.kharkov.ua/fileadmin/P\\_vcheniy\\_secretar/%D0%9E%D0%A5%D0%9E%D0%A0%D0%9E%D0%9D%D0%90\\_%D0%9F%D0%A0%D0%90%D0%A6%D0%86/R\\_IT-INDUSTRIA.pdf](https://www.khadi.kharkov.ua/fileadmin/P_vcheniy_secretar/%D0%9E%D0%A5%D0%9E%D0%A0%D0%9E%D0%9D%D0%90_%D0%9F%D0%A0%D0%90%D0%A6%D0%86/R_IT-INDUSTRIA.pdf).

42 Сьогодні UA. <https://www.segodnya.ua/lifestyle/fun/pochti-kak-u-google-chemudivlyayut-ofisy-ukrainskih-it-kompaniy--764025.html>.

43 MRPL.CITY. <https://mrpl.city/news/view/mariupolskaya-konditerka-stanetbiznes-tsentrom-foto-plusvideo>.

44 Производительность труда на предприятии: измерение, анализ и повышение. <https://www.gd.ru/articles/3575-proizvoditelnost-truda>.

45 Організація оповіщення і зв'язку. <https://guns.odessa.gov.ua/guns-opovwennya-naselennya/organ-zac-ya-opov-wennya-zv-yazku/>.

# ДОДАТКИ

Тези конференції

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ

МАТЕРІАЛИ

ІХ НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ

«ІНФОРМАЦІЙНІ МОДЕЛІ,  
СИСТЕМИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ»



8–9 грудня 2021 року

ТЕРНОПІЛЬ  
2021

<b>Р.І. Боднар, І.М. Кормило, О.Ю. Задолінний, Т.О. Масєвський</b> СИСТЕМИ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ ОПРАЦЮВАННЯ ДАНИХ В УМОВАХ ПАНДЕМІЇ	
<b>R.I. Bodnar, I.M. Kormylo, O.Yu. Zadolynnyi, T.O. Maievskiy</b> ARTIFICIAL INTELLIGENCE SYSTEMS FOR DATA PROCESSING IN A PANDEMIC CONDITION	29
<b>Р.І. Боднар, І.М. Кормило, О.Ю. Задолінний, Т.О. Масєвський</b> ЗГОРТКОВІ НЕЙРОННІ МЕРЕЖІ ДЛЯ ОПРАЦЮВАННЯ ДАНИХ В УМОВАХ ПАНДЕМІЇ	
<b>R.I. Bodnar, I.M. Kormylo, O.Yu. Zadolynnyi, T.O. Maievskiy</b> CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORKS FOR DATA PROCESSING IN A PANDEMIC CONDITION	31
<b>А.І. Войтович</b> ДОСЛІДЖЕННЯ АКТУАЛЬНОСТІ УПРАВЛІННЯ ПРОЕКТАМИ У СФЕРІ ОБСЛУГОВУВАННЯ	33
<b>Р.І. Волошчак</b> РОЗРОБКА ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ЗБОРУ ТА АНАЛІЗУ ПОКАЗНИКІВ ЛІЧИЛЬНИКА ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ ARDUINO	
<b>R.I. Voloshchak</b> DEVELOPMENT OF INFORMATION SYSTEM FOR COLLECTION AND ANALYSIS OF ELECTRICITY METER INDICATORS USING ARDUINO	34
<b>О.В. Воляник, Інамєне Крістофер Чізоба, С.А. Лупенко</b> ПРОТОТИП ІНФОРМАЦІЙНОЇ ОНТООРІЄНТОВАНОЇ ДОВІДКОВОЇ СИСТЕМИ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ «МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОПРАЦЮВАННЯ ЦИКЛІЧНИХ СИГНАЛІВ»	
<b>O.V. Volyanyk, Nnamene Christopher Chizoba, S.A.</b> PROTOTYPE OF ONTO-ORIENTED INFORMATION HELP SYSTEM IN SUBJECT AREA «MODELING AND PROCESSING CYCLIC SIGNALS»	35
<b>А.О. Воронка</b> МОДЕЛЬ ПАМ'ЯТІ ТЕХНОЛОГІЇ CUDA	
<b>A.O. Voronka</b> CUDA TECHNOLOGY MEMORY MODEL	36
<b>А.В. Гайдар, В.А. Готович</b> РОЗРОБКА ПЛАТФОРМИ ДЛЯ ПЕРЕВІРКИ ЗНАНЬ ШЛЯХОМ ТЕСТУВАННЯ	
<b>A.V. Haidar, V.A. Hotovych</b> DEVELOPMENT OF PLATFORMS FOR VERIFICATION OF KNOWLEDGE THROUGH TESTING	37
<b>Ю. Горбуляк</b> ОГЛЯД МЕТОДІВ МАЙНІНГУ WEB-КОНТЕНТУ	
<b>Yu. Horbuliak</b> SURVEY OF THE METHODS OF WEB-CONTENT MINING	38
<b>С. Гоцко, Г.В. Козбур</b> ВИКОРИСТАННЯ ВЕЛИКИХ ДАНИХ В РОЗУМНОМУ МІСТІ	
<b>E. HotskoH. Kozbur</b> USING BIG DATA IN A SMART CITY	39

УДК 004.8

**Р.І. Боднар, І.М. Кормило, О.Ю. Задолінний, Т.О. Масєвський**

(Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна)

(Технічний коледж ТНТУ імені Івана Пулюя, Україна)

## **СИСТЕМИ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ ОПРАЦЮВАННЯ ДАНИХ В УМОВАХ ПАНДЕМІЇ**

UDC 004.8

**R.I. Bodnar, I.M. Kormylo, O.Yu. Zadolynnyi, T.O. Maievskyi**

## **ARTIFICIAL INTELLIGENCE SYSTEMS FOR DATA PROCESSING IN A PANDEMIC CONDITION**

**Ключові слова:** ДАНІ, ОПРАЦЮВАННЯ, СИСТЕМА, ПАНДЕМІЯ, ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ.

**Key words:** DATA, PROCESSING, SYSTEM, PANDEMIC, ARTIFICIAL INTELLIGENCE.

Впродовж останнього періоду часу пандемія COVID-19 спричинила значне навантаження в роботі медичних працівників [1]. На даний час за даними «Національного центру біотехнологічної інформації» (NCBI), існує 219 видів вірусів, що можуть інфікувати людей [2]. Коронавіруси – це група вірусів, які здебільшого спричиняють незначні проблеми, що супроводжуються симптомами кашлю та застуди. Більшість коронавірусів є нешкідливими для людей. Можливість виявлення коронавірусу на ранніх стадіях допоможе зупинити поширення пандемії. Тому формування медичних діагностичних та лікувальних систем на основі штучного інтелекту в умовах пандемії є актуальним напрямком досліджень. При кожному контакті COVID-19 з людським організмом формується дуже міцний контакт з мембраною людської клітини завдяки білковим шипам. Інкубаційний період коронавірусу проходить впродовж приблизно п'яти днів [3].

Новий коронавірус COVID-19 є доволі агресивним. Він доволі часто спричиняє смерть пацієнтів. Коронавіруси є одноланцюговими РНК-вірусами. Вони сильніше мутують у порівнянні з вірусами на ДНК-основі. COVID-19 поширюється швидше, ніж інші вірусні ГРВІ. Через поширення COVID-19 у різних країнах починаючи з квітня 2020 року раптово відбулося збільшення кількості рентгенограм та комп'ютерних томограм грудної клітки [4]. Розвиток захворювання супроводжується посиленням симптомів, призводить до виникнення великого матового помутніння навколо вузлів на рентгенограмах. Формуються множинні ущільнення в обох легенях. На важкій стадії в легенях присутньо багато дифузних уражень. Це, в свою чергу, що призводить до утворення легеневого фіброзу. Як наслідок рентгенограми легень стають білими [5]. Це спонукає наукову спільноту до розробки систем діагностики COVID-19 з використанням засобів аналітичного опрацювання зображень рентгенограм.

Для опрацювання медичних зображень використовуються інформаційні системи сформовані на основі методів аналізу даних, зокрема методів машинного навчання та глибокого навчання. Модель глибокого навчання використовує підходи фільтрації та класифікації, подібно до людського мозку [6]. Глибоке навчання – це підклас машинного навчання, який сформовано на основі декількох рівнів обробки даних. Окремі шари використовуються для аналізу вхідних даних та їх класифікації. Введення даних може відбуватись текстовому, звуковому або графічному вигляді. Тому глибоке навчання може ефективно застосовуватись для задач класифікації медичних зображень [7].

Згортка нейронна мережа (CNN) найкраще підходить для класифікації зображень при глибокому навчанні. Але на даний час існують певні концептуальні обмеження. Зокрема, під час роботи максимального пулу CNN втрачається інформація про позицію об'єкта, яка використовується мережею для розпізнавання. Крім того, CNN не розглядає множинну просторових зв'язків між простішими об'єктами. Щоб подолати ці концептуальні обмеження



CNN, автори роботи [8] використовували згорткову капсульну мережу (CapsNet) для класифікації рентгенограм.

У роботі [9] автори запропонували модель глибокого навчання на основі групової капсульної мережі візуальної геометрії «VGG-CapsNet», поєднання «VGGNet» і «CapsNet» для видобування детальнішої інформації з рентгеновських зображень. Апостолопулос [10] запропонував модель виявлення COVID-19 за допомогою аналізу рентгеновських зображень грудної клітки. Модель розроблена на основі глибокого навчання з CNN, зокрема, передача процедури навчання. Для навчання моделі автором використано рентгенограми грудної клітки здорової людини, інфікованої пневмонією людини та інфікованих COVID-19 пацієнтів. Зазначені зображення загальнодоступні в медичних сховищах даних. Автори розробили та протестували модель за допомогою двох наборів рентгеновських зображень. Кожен з використаних наборів містить рентгенограми понад двохсот двадцяти інфікованих COVID-19 пацієнтів, понад сімсот пацієнтів з пневмонією та понад п'ятсот здорових громадян.

### **Література.**

1. Duda, O., Pasichnyk, V., Kunanets, N., Antonii, R., Matsiuk, O. Multidimensional Representation of COVID-19 Data Using OLAP Information Technology. *International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies*, 2020, 2, pp. 277–280, 9321889.
2. Woolhouse M., Scott F., Hudson Z., Howey R., Chase-Topping M. Human viruses: discovery and emergence. *Philos Trans R Soc B Biol Sci*. 2012;367(1604):2864–2871.
3. Cascella M., Rajnik M., Cuomo A., Dulebohn S.C., di Napoli R. Features, evaluation and treatment corona virus (COVID-19). *Statpearls* [internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2020.
4. Singhal T. A review of corona virus disease-2019 (COVID-19). *Indian J Pediatr*. 2020;87(4):281–286.
5. Kong W., Agarwal P.P. Chest imaging appearance of COVID-19 infection. *Radiol Cardiothorac Imaging*. 2020;2(1):e200028.
6. LeCun Y., Bengio Y., Hinton G. Deep learning. *Nature*. 2015;521 (7553):436–444.
7. Jain A, Tiwari S, Sapra V. *Hands on Deep Learning with Python Programming*. Germany: Lambert Academic Publishing House; 2018 978-613-9-91551-4.
8. Iesmantas T., Alzbutas R. Convolutional capsule network for classification of breast cancer histology images. *International Conference Image Analysis and Recognition*. Cham, Switzerland: Springer; 2018:853–860.
9. Tiwari S., Shamik, Anurag J. "Convolutional capsule network for COVID-19 detection using radiography images." *International Journal of Imaging Systems and Technology* 31.2 (2021): 525–539.
10. Apostolopoulos I.D., Mpesiana TA. COVID-19: automatic detection from X-ray images utilizing transfer learning with convolutional neural networks. *Phys Eng Sci Med*. 2020;43(2): 635–640.

**УДК 004.8**

**Р.І. Боднар, І.М. Кормило, О.Ю. Задолінний, Т.О. Масвський**

(Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна)

(Технічний коледж ТНТУ імені Івана Пулюя, Україна)

## **ЗГОРТКОВІ НЕЙРОННІ МЕРЕЖІ ДЛЯ ОПРАЦЮВАННЯ ДАНИХ В УМОВАХ ПАНДЕМІЇ**

UDC 004.8

**R.I. Bodnar, I.M. Kormylo, O.Yu. Zadolynnyi, T.O. Maievskyi**

## **CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORKS FOR DATA PROCESSING IN A PANDEMIC CONDITION**

**Ключові слова:** ДАНІ, ОПРАЦЮВАННЯ, НЕЙРОННА МЕРЕЖА, ПАНДЕМІЯ.

**Key words:** DATA, PROCESSING, NEURAL NETWORK, PANDEMIC.

На даний час світ знаходиться в умовах пандемії спричиненої поширенням різних штамів коронавірусних інфекцій. Вірус COVID-19 утворює багато слизу в органах дихання і викликає набряк дихальних шляхів. Якщо слиз не очищається, це призводить до масованого враження легенів та летального результату [1]. Станом на осінь 2021 року понад п'ять мільйонів людей померло внаслідок COVID-19 [2]. На даний час сформовано два напрямки боротьби з коронавірусом – виявлення та лікування. Виявлення коронавірусу на ранніх стадіях допоможе зупинити поширення пандемії. На основі аналізу рентгенограм грудної клітки інфікованих COVID-19 пацієнтів було встановлено, що на ранніх стадіях захворювання спостерігаються слабкі симптоми, котрі супроводжуються невеликим матовим помутнінням легень та формуванням вузлів. Тому опрацювання медичних зображень для виявлення випадків інфікування в умовах пандемії є актуальним напрямком сучасних досліджень.

Холл в [3] обговорює важливість аналітичного опрацювання рентгенограм грудної клітки для процесів раннього діагностування та виявлення COVID-19. Автором запропоновано модель глибокого навчання, котру сформовано на основі комбінації попередньо підготованих мереж «VGG16», «Resnet50» та CNN. В процесах навчання та тестування використано загальнодоступні колекції рентгенограм грудної клітки понад стотридцяти інфікованих COVID-19 пацієнтів і понад трьохсот інфікованих звичайними ГРВІ та пневмонією пацієнтів.

Робота Чжан [4] присвячена ефективності опрацювання рентгенограм грудної клітки для виявлення інфікованих COVID-19 пацієнтів. Оскільки цей вірус активно вражає органи дихання та зокрема легені. Автор запропонував сформовану на основі глибокого навчання модель виявлення легеневої аномалії. У дослідженні використано сто доступних на Github зображень рентгенограм грудної клітки. В досліджуваному наборі даних сімдесят зображень рентгенограм грудної клітки отриманих для COVID-19 пацієнтів. Решта тридцять зображень отримано для пацієнтів, що страждають на ГРВІ, пневмонію тощо.

Акар та Кокмаз [5] обговорюють процеси виявлення COVID-19. Автори використали сформовану на основі штучного інтелекту структуру для виявлення COVID-19 на основі аналізу рентгенограм грудної клітки. Було використано «Squeezenet» та байєсівську оптимізацію для формування моделі глибокого навчання. Для підвищення точності використано гіперпараметри та доповнені набори даних. Автори стверджують про досягнення точності 98,3% при виявленні COVID-19, пневмонії та нормальних випадків. Халіфа [6] досліджує процеси виявлення спричиненого COVID-19 запалення легень. Автор описує використання генеративної змагальної мережі (GAN) в комплексі з моделями навчання глибокої передачі «AlexNet», «Resnet18», «Squeezenet» та «GoogleNet». Для навчання та динамічного тестування моделей використано набір даних в якому понад п'ять тисяч вісімсот рентгенограм грудної клітки інфікованих пневмонією або здорових пацієнтів.

Салман [7] опублікував дослідження рентгенівських зображень високої роздільної здатності для зменшення робочого навантаження лікарів-радіологів при виявленні COVID-19. Розроблено моделі глибокого навчання на основі CNN. Використано набір з двохсот шестидесяти доступних на Kaggle та Github зображень, котрий містить рентгенограми грудної клітки сто тридцяти здорових громадян та сто тридцяти інфікованих COVID-19 пацієнтів. Автор стверджує, що завдяки результатам моделювання було досягнуто показники точності, які еквівалентні експерту-радіологу.

Бассі та Аттукс [8] запропонували модель класифікації рентгенограм грудної клітки для виявлення COVID-19. Розроблена модель на основі «DenseNet121 CNN», використовує зображення рентгенограм грудної клітки COVID-19 пацієнтів, хворих на пневмонію та здорових громадян. Описана в роботі модель пройшла два етапи навчання. На першому етапі навчання відбувалося за допомогою набору зображень. Під час другого етапу навчання відбувалося на основі бази даних рентгенограм грудної клітки. На основі результатів симуляційного дослідження автори повідомляють про досягнення точності 97,8% для COVID-19 тестів.

### **Література.**

1. Guo Y.R., Cao Q.D., Hong Z.S., et al. The origin, transmission and clinical therapies on corona virus disease 2019 (COVID-19) outbreak—an update on the status. *Mil Med Res.* 2020;7(1):1-10.
2. Worldometer. COVID-19 CORONAVIRUS PANDEMIC. Coronavirus Cases. <https://www.worldometers.info/coronavirus/>.
3. Hall L.O., Paul R., Goldgof D.B., Goldgof G.M. Finding COVID-19 from chest X-Rays using deep learning on a small dataset. *arXiv preprint arXiv:2004.02060*; 2020.
4. Zhang J., Xie Y., Li Y., Shen C., Xia Y.. COVID-19 screening on chest X-Ray images using deep learning based anomaly detection. *arXiv preprint arXiv:2003.12338*; 2020.
5. Ucar F., Korkmaz D. COVIDiagnosis-net: deep BayesSqueezeNet based diagnostic of the corona virus disease 2019 (COVID-19) from X-ray images. *Med Hypotheses.* 2020;140 (2020):1–12.
6. Khalifa N.E.M., Taha M.H.N., Hassanien A.E., Elghamrawy S.. Detection of corona virus (COVID-19) associated pneumonia based on generative adversarial networks and a fine-tuned deep transfer learning model using chest X-Ray dataset. *arXiv preprint arXiv:2004.01184*; 2020.
7. Salman F.M., Abu-Naser SS, Alajrami E, Abu-Nasser BS, Alashqar BA, COVID-19 Detection Using Artificial Intelligence; United States: The DSpace Institutional Digital Repository System; 2020.
8. Bassi P.R., Attux R. A deep convolutional neural network for COVID-19 detection using chest X-rays. *arXiv preprint arXiv: 2005.01578*; 2020.