Приклад моделювання епідемічного процесу:\

1. **Агентні технології**
2. **Мультиагентна модель**
3. **Автоматизація та програмна реалізація**

Агентні технології пов'язані з поняттям інтелектуального агента, як деякого інтелектуального робота (активного елементу), цілеспрямовано взаємодіючого з іншими подібними елементами і зовнішнім середовищем в заданих умовах.

За визначенням під інтелектуальним агентом розуміється імітаційна модель активного елементу, стан і поведінку якого в різних ситуаціях досягнення мети змінюються в залежності від стану і поведінки інших агентів і середовища по аналогії з інтелектуальним поведінкою живого організму (в тому числі людини) в подібних умовах.

Таким чином, агентні технології пов'язані з імітацією взаємодії інтелектуальних агентів - активних елементів динамічних систем будь-якої фізичної, біологічної та соціальної природи. Поведінка і зміна стану таких систем є результатом покрокової взаємодії безлічі її активних елементів, характером відносин і зв'язків між ними, умовами досягнення локальних та глобальних цілей і т. п. У цьому випадку формалізація і моделювання процесів поведінки і взаємодії агентів дозволяють імітувати і прогнозувати виникнення якісно нових станів системи і оцінити можливості досягнення мети при різних варіантах, а також обґрунтувати прийняття рішень в складних ситуаціях ризику, невизначеності та конфлікту.

Рішення такого завдання аналітично або методами математичного програмування з покроковою зміною цільових функцій і обмежень для кожного агента в залежності від зміни ситуації та наближення до мети в більшості випадків неможливо. Це обумовлено неповною, нечіткою або помилковою інформацією про стан і поведінку активних елементів системи. Агентно - орієнтована імітація відкриває нові можливості ідентифікації і прогнозування стану та поведінки активної системи будь-якої фізичної, соціальної та біологічної природи, що є результатом багатокрокової взаємодії багатьох активних елементів системи і навколишнього середовища.

Безліч взаємопов'язаних агентів з індивідуальними характеристиками і поведінкою в будь-якого активного середовища утворює деяку мультиагентну систему, яка б відтворювала динаміку взаємодії і стану агентів в процесі досягнення спільних цілей.

Мультиагентне імітаційне моделювання активних систем - це нова концепція інтелектуальних інформаційних технологій. Вона орієнтована на спільне використання моделей і методів природного і штучного інтелекту для віртуального дослідження, ідентифікації та прогнозування стану та поведінки активних систем в заданому середовищі.

Принциповою відмінністю нової концепції моделювання є введення і формалізація сенсорних зв'язків (змінних) між взаємодіючими активними

елементами динамічної системи. Ці зв'язки визначають зміну стану і поведінки взаємодіючих агентів і системи в напрямку «виживання» і досягнення цілей в складних ситуаціях згоди і протидії, початкової невизначеності, ризику і конфлікту, неповної і нечіткої інформації про ступінь досягнення мети.

Однак практична розробка мультиагентних систем є складним завданням через труднощі в створенні віртуальних середовищ функціонування агентів і власне самих агентів. Тому багато роботи з агентно-орієнтованого моделювання мають описовий характер і в кінцевому підсумку зводяться до вирішення сукупності окремих завдань оптимізації, логістики та дослідження операцій без врахування чинників динамічної взаємодії автономних агентів.

3 ПОНЯТТЯ І ВИДИ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ АГЕНТІВ

Агент - це програмний модуль, здатний виконувати задані йому функції деякого живого або кібернетичного організму в залежності від функцій іншого агента і впливів активного середовища.

Відповідно до рівня штучного інтелекту і способом поведінки агенти можуть бути класифіковані на наступні основні типи:

1) рефлексивні агенти - характеризуються фізичним і соціальним станами; мають просту поведінку у вигляді реакцій на поточні зміни середовища і інформацію від інших агентів по продукційним правилам «умова - дія»;

2) знання-орієнтовані агенти - мають фізичні, соціальні і когнітивні стани; їх поведінка основана на апріорних знаннях навколишнього середовища, ідентифікації ситуації і ухваленні рішення для досягнення мети;

3) цілеспрямовані навчаючі інтелектуальні агенти - мають у своєму розпорядженні базу знань і ієрархією цілей, моделі поведінки і стратегії досягнення мети в умовах невизначеності, ризику і протидії;

4) самонавчаючи цілеспрямовані агенти - здатні накопичувати знання на основі великого обсягу даних і онтології подій в процесі взаємодії з іншими

агентами і навколишнім середовищем, адаптуватися до ситуації, вибирати стратегію досягнення обраної мети та оцінювати ступінь її досягнення;

5) емоційно-мотивовані агенти - володіють, поряд з вищеописаними «здібностями» попередніх класів, емоційним станом і психотипом в моделях поведінки людини.

Критерієм інтелектуальності агента є ступінь повноти і глибини апріорної бази знань, стратегії і алгоритми цілеспрямованої поведінки в умовах невизначеності, ризику і конфлікту. Загальний алгоритм поведінки інтелектуального агента в динамічній ситуації, що вимагає ухвалення рішення, показаних на рис. 1.

Поведінка агента описується, як деяка ітераційна процедура переробки даних про стан інших агентів і середовища з вибором стратегії цілеспрямованих дій, і представляється послідовністю операцій в дискретні часові періоди - тимчасові події.

Кожній операції відповідає свій алгоритмічний і свій програмний модулі, що забезпечують:

1) сприйняття інформації і накопичення знань про навколишнє середовище і середовищі взаємодії або конфлікту (сенсорний модуль);

2) механізм взаємодії і обробки даних від контрагентів;

3) аналіз власного стану і стану контрагентів з вибором або корекцією цільових функцій (інтелектуальний модуль);

4) прийняття автономних рішень і вибір стратегій. Поведінку агента можна уявити деякою рекурсивною формою, яка описує знаходження і вибір на черговому кроці функції переходу від початкового стану до нового стану в напрямку поліпшення цільової функції.

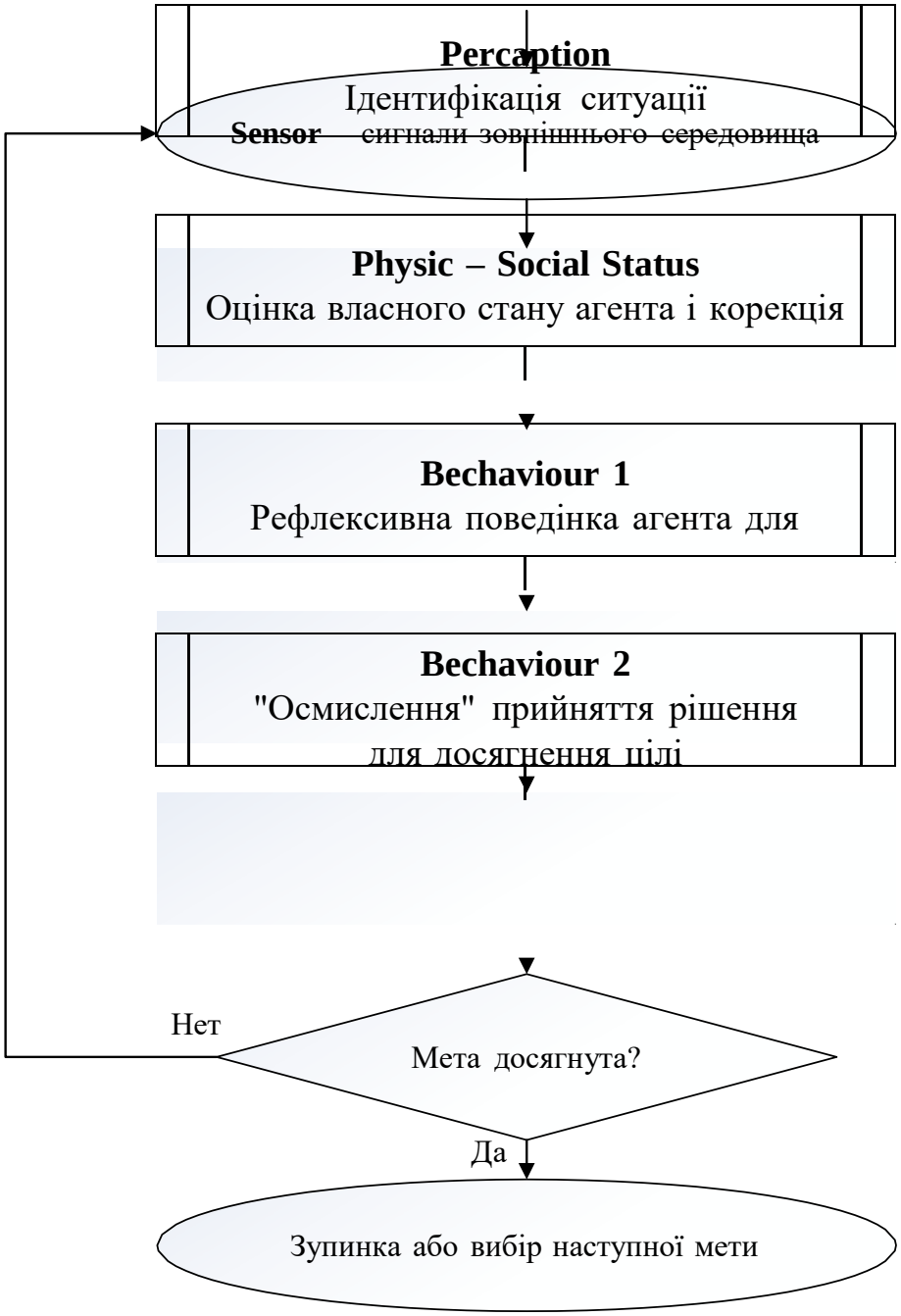


Рис. 1 - Класифікація моделей і методів прогнозування

Подібне завдання в окремих випадках може бути вирішене методами математичного програмування з корекцією цільової функції і індивідуальних

обмежень на черговому кроці зміни стану агента в залежності від ситуації і наближення до мети в умовах невизначеності і нечіткої інформації.

3.1 Структура агентів

Найбільш вигідним типом агента при дослідженні епідемічних процесів є емоційно-мотивований інтелектуальний агент, для найбільш повної і точної моделі поведінки людини. Представимо агента як набір властивостей

$$a = \langle s, s_t, c, t_a, l \rangle, a \in A, s \in S, c \in C, t_a \in T_a, \quad (2.1)$$

де s_t – час перебування в стані s,

A – множина всіх агентів,

S – множина різних станів агентів,

C – множина комірок робочої області,

T_a – множина типів, до яких можуть належати агенти,

l – тривалість життя.

Множина станів агента визначена попередньо і є постійною. Залежно від досліджуваного процесу множина може доповнюватися різними станами, початкова множина являє собою:

$$S=\{Susceptible, Exposed, Infected, Convalescent, Recovered, Dead\}. \quad (2.2)$$

Використання такого набору станів ґрунтується на ідеї розподілу всієї популяції на підмножини, виходячи з їхніх станів за епідемічними ознаками.

На рисунку 2 наведені переходи між станами агентів.

- Susceptible – агент здоровий (може бути схильним до зараження). В даному випадку під здоровим мається на увазі агент, який є сприйнятливим до захворювання на інфекцію, епідемічний процес якої моделюється.
- Exposed – агент зазнав захворювання. Даний стан являє собою інкубаційний період. Протягом цього часу агент ще не є хворим, але вже має шанси передавати інфекцію.
- Infected – агент хворий. Агенти в цьому стані є найбільш ймовірними джерелами інфекції для інших агентів.

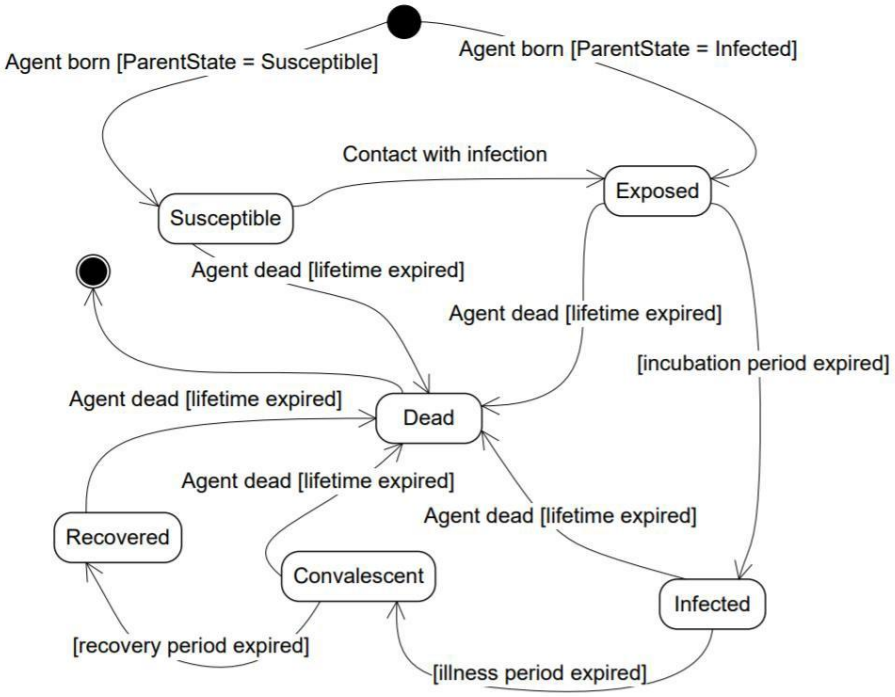


Рис 2 – Схема, що описує зміни станів агента

- Convalescent – агент одужує. Даний стан характеризує період, коли зникли клінічні симптоми захворювання, але агент, як і раніше, може бути носієм захворювання і джерелом інфекції. Наявність такого стану характерна для певних інфекційних захворювань.
- Recovered – агент видужав (придбав імунітет). Агенти в цьому стані більш не схильні до захворювання.
- Dead – агент мертвий від старості або внаслідок захворювання.

3.2 Середовище

Декомпозиція робочої області призводить до виникнення множини комірок як умовних абстрактних об'єктів. Передбачається, що одна комірка одночасно може містити в собі множину агентів, а також один об'єкт-переносник інфекції (назвемо його інструментом). Тому комірку можна описати

$$c \in \left\langle z, \tilde{A}, i \right\rangle, z \in Z, \tilde{A} \subseteq A, i \in I, \tag{2.3}$$

де I – множина всіх інструментів,

Z – множина всіх робочих областей.

Робоча область може бути описана наступним чином

$$z \in \left\langle \tilde{C}, t_Z \right\rangle, \tilde{C} \subseteq C, t_Z \in T_Z, \tag{2.4}$$

де T_Z – множина типів, до яких можуть належати області. Передбачається що в залежності від типу області, в якій знаходиться агент, змінюється специфіка епідемічного процесу.

3.3 Взаємодія агентів

Особливість полягає в тому, що на цій шкалі за певними правилами, виходячи із загальної ситуації в системі та індивідуальних характеристик осіб, з'являються події агентів, які відбуваються і обробляються системою після досягнення необхідного моменту часу. Серед подій є події-перетинання кордонів комірок, що утворюють потік подій першого типу. Такі події представлені зростаючою послідовністю моментів часу, обробляються, як перехід з однієї комірки в іншу. Також в системі присутні події взаємодії з іншими агентами, що призводить до розгалуження результатів події в залежності від індивідуальних властивостей агентів, що взаємодіють один з одним. Таким чином створюється потік подій другого типу. Обробка обох типів подій і генерація наступних для кожного агента – складна задача, яка пов'язана з деякими проблемами технічного характеру, від вирішення яких безпосередньо залежить адекватність і доцільність використання моделі.

Контактна передача захворювання від агента до агента реалізована наступним чином. Для початку перевіряється можливість контактного зараження. Вважається, що це можливо, якщо в одній комірці разом з поточним агентом, що обробляється, розташовуються також і інші агенти. Відбувається зіставлення кожної пари агентів (що утворюються з поточного агента, який

обробляється з іншими агентами в поточній комірці). Якщо, принаймні, один з агентів є носієм захворювання, то вважається, що з певною ймовірністю між агентами відбувається контакт, достатній для здійснення зараження, і здоровий агент інфікується.

Обробка взаємодії між агентами здійснюється середовищем моделювання в залежності від захворювання, що моделюється. При розгляді певних епідемічних процесів логіка обробки взаємодії агентів може ускладнюватися.

Для збільшення деталізації популяції з точки зору її належності до умовних соціальних груп були виділені типи агентів, які представляються наступним чином

$$t = \langle \bar{P}_t, \bar{\tau}_t \rangle, \qquad (2.5)$$

де $\bar{P}_t$ – вектор ймовірностей, характерних для типу агента;

$\bar{\tau}_t$ – вектор констант модельного часу.

Побудована модель допускає розширення, пов'язане зі збільшенням розмірності векторів. В рамках даної задачі обмежимося наступним набором:

$$\bar{P}_t = (P_b, P_{hr}, P_{hh}, P_{sr}, P_{sh}), \qquad (2.6)$$

де P_b – ймовірність народження агента з заданим типом,

P_{hr} – ймовірність того, що агент в здоровому стані перейде в область ризику,

P_{hh} – ймовірність переходу здорового агента в область «Лікарня»,

P_{sr} – ймовірність того, що агент у хворому стані перейде в область ризику,

P_{sh} – ймовірність переходу хворого агента в область «Лікарня».

Для взаємодії між агентами використовується вектор ймовірностей $\bar{P}$

$$\bar{P} = (P_i, P_r, P_d, P_s, P_a), \qquad (2.7)$$

де P_i – ймовірність передачі інфекції від хворого агента або за допомогою зараженого інструменту,

P_r – ймовірність передачі інфекції від агента, що знаходиться на стадії інкубаційного періоду або стадії спаду захворювання (назвемо

це «зниженою вірогідністю зараження»);

P_d – ймовірність того, що у агента в лікарні буде виявлено захворювання, яке перебуває на стадії інкубаційного періоду;

P_S – ймовірність того, що при взаємодії два агента вступлять в контакт;

P_a – ймовірність випадкової передачі інфекції здоровому агенту від агента-носія.

4 МУЛЬТИАГЕНТНА МОДЕЛЬ ІКБ

Математичне моделювання як елемент моніторингу інфекцій дозволяє оцінити епідеміологічний потенціал осередків в регіоні і на окремих територіях, спрогнозувати тенденції епідемічного процесу і визначити основні пріоритети та напрямки в профілактиці ІКБ. Прогнозування поширення даної хвороби дозволить встановити основні фактори, що впливають на інтенсифікацію епідемічного процесу ІКБ, і провести раціональні профілактичні та протиепідемічні заходи з мінімальними фінансовими і трудовими затратами.

У даній роботі процес розробки прогнозу здійснюється за допомогою імітаційного мультиагентного моделювання.

Принциповою відмінністю нової концепції моделювання є введення і формалізація сенсорних зв'язків (змінних) між взаємодіючими активними елементами динамічної системи. Ці зв'язки визначають зміну стану і поведінки взаємодіючих агентів і системи в цілому в напрямку «виживання» і досягнення цілей в складних ситуаціях згоди і протидії, початкової невизначеності, ризику і конфлікту, неповної і нечіткої інформації про ступінь досягнення мети.

Порівняльний аналіз точності прогнозування методом ковзних середніх до 3 років і агентного моделювання показав, що останній описує існуючі дані краще (рис. 3), отже, прогноз буде виконано точніше.

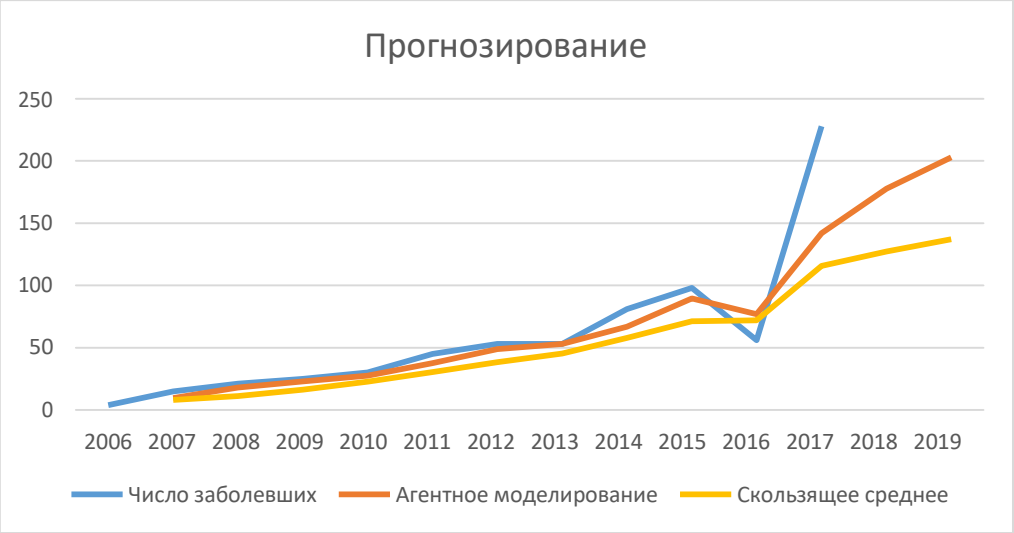


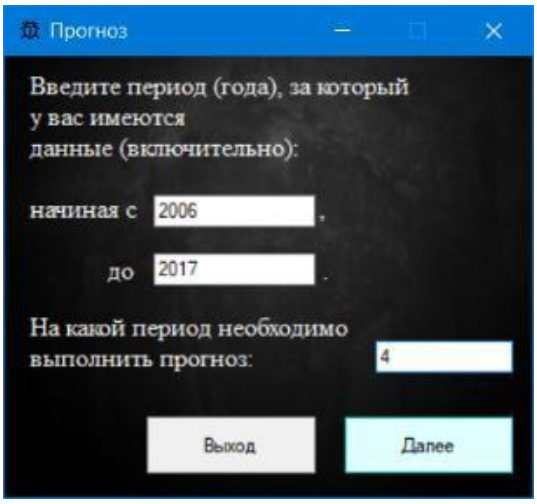
Рис. 3. Прогнозування захворюваності ІКБ із застосуванням різних підходів

5 АВТОМАТИЗАЦІЯ ТА ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ

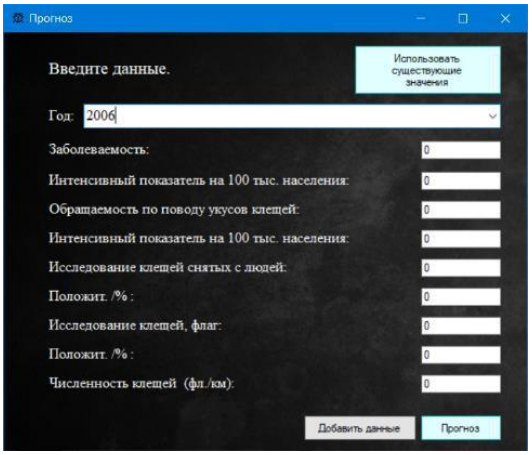
Для автоматизації прогнозування захворюваності ІКБ на мові C# розроблений програмний комплекс, що дозволяє обчислити прогнозну захворюваність на підставі існуючих статистичних даних в режимі реального часу. У моїй моделі налаштування програмного комплексу включені дані за період 2006 - 2017 роки. Дані по роках включають інтенсивні показники захворюваності на 100 тис. населення, зверненнями населення з приводу укусів кліщів, результати досліджень кліщів, знятих з людей, на наявність борелій і питома вага інфікованих боррелиями кліщів, зібраних на прапор, показники чисельності кліщів.

Для початку розрахунку прогнозу необхідно ввести роки, за які є дані, і кількість років для яких необхідно виконати прогноз (рис. 4а). Потім необхідно ввести дані за кожен рік або вибрати наявні значення з бази даних і виконати прогноз (рис. 4б, 4в).

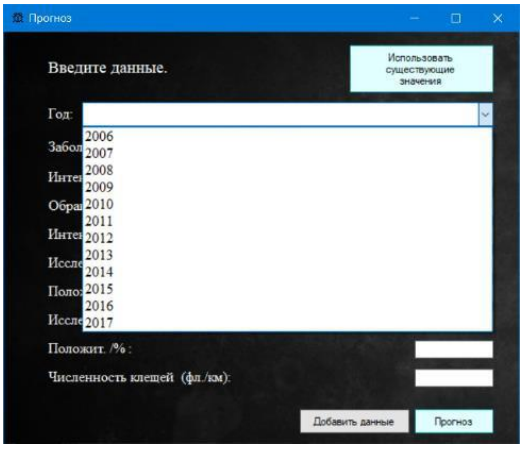
Після введення даних за один рік необхідно натиснути на кнопку "Додати дані". Після заповнення всіх значень за кожен рік, необхідно натиснути "Прогноз", щоб виконати прогноз.



а)



б)



в)

Рис. 4. Початкове вікно роботи програмного комплексу (а), вибір року для прогнозування (б), введення даних для прогнозування (в).

Програмний комплекс автоматично розраховує прогноз, результати якого зображуються у вигляді графіків. Навівши курсором мишки на потрібну точку можна подивитися точне значення.