

## АРХІТЕКТУРНІ ЗАСАДИ СИСТЕМ МОНІТОРИНГУ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ РОЗВИТКУ ЕПІДЕМІОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

---

***Анотація.** У статті розглядаються архітектурні засади систем моніторингу та прогнозування розвитку епідеміологічних процесів (на прикладах грипу та ГРВІ), що функціонують у складі державної системи Е-урядування.*

***Ключові слова:** епідеміологічний процес, часові ряди, моніторинг епідпроцесу, прогнозування.*

***Аннотация.** В статье рассматриваются архитектурные принципы систем мониторинга и прогнозирования эпидемиологических процессов (на примерах гриппа и ОРВИ), функционирующих в составе государственного Е-управления.*

***Ключевые слова:** эпидемиологический процесс, временные ряды, мониторинг эпидпроцесса, прогнозирование.*

***Abstract.** The article investigates the architectural principles of monitoring and forecasting epidemiological processes development systems (based on examples of flue and ARVI) that function within state E-control system.*

***Keywords:** epidemiological process, time series, epidemiological process monitoring, forecasting.*

### 1. Вступ

В останні роки в Україні склалась досить складна епідеміологічна ситуація, яка була обумовлена масовими захворюваннями населення на грип і ГРВІ. Зростання грипозної захворюваності, яка поступово переростала в грипозну пандемію, в ці роки відбувалося на фоні інтенсивного впливу сезонних факторів. Саме одночасна циркуляція сезонного і пандемічного штамів вірусу грипу визначали характер, інтенсивність та динаміку розповсюдження грипозної захворюваності серед населення. Це сприяло тому, що перевищення епідеміологічних порогів почало спостерігатися не лише епізодично по окремих регіонах, а з тією або іншою інтенсивністю почало відбуватися в усіх областях, АР Крим, містах Києві і Севастополі.

За даними моніторингу МОЗ [8], з початку підйому грипозної захворюваності в останньому епідсезоні (2009–2010 рр.) в Україні було зареєстровано близько 4,5 млн випадків захворювання на грип і ГРВІ. В значній мірі цей показник був обумовлений відсутністю в Україні належного прогнозу можливості виникнення епідемії (або пандемії) грипу. Як наслідок, медичними закладами не були своєчасно проведені необхідні профілактичні та протиепідеміологічні заходи, зокрема: імунізація населення, не встановлений характер циркуляції збудників грипу і ГРВІ серед різних вікових груп населення, не встановлений напрямок і інтенсивність розвитку епідемії, не визначена питома вага збудника пандемічного грипу в загальній структурі респіраторної захворюваності. Не проведена оцінка колективного імунітету населення, не визначений його ступінь враженості по вікових групах та ін.

Існує декілька причин, що обумовлюють такий стан речей.

По-перше, наші знання відносно факторів, що обумовлюють грипозні епідемії, рівно як і про механізми виникнення пандемічних штамів вірусу, ще недостатні. Тому існує гостра потреба в проведенні пошуку нових підходів до оцінки даних, що накопичуються в ході моніторингу епідеміологічних процесів при виникненні грипозних епідемій або пандемій.

По-друге, апарат моделювання, що використовується, не дозволяє епідеміологам-аналітикам своєчасно отримати відповіді на питання: «Чи досягнутий темп зниження грипозної захворюваності, достатній для подолання епідемії?», «Існують чи ні умови для му-

тації вірусного збудника в ході епідемії?». Це ключові питання, без відповіді на які неможливо розробити та своєчасно провести протиепідеміологічні заходи, спрямовані на попередження грипозних епідемій та їх подолання. Саме шляхи вирішення деяких із зазначених проблем і розглядаються в даній статті.

## 2. Проблематика процесів моніторингу та прогнозування

Прогнозування процесів виникнення та розвитку епідемій, особливо таких масових захворювань, як грип та ГРВІ, має загальнодержавне значення і може розглядатися як прогнозування надзвичайної ситуації загальнодержавного масштабу. Проаналізувавши існуючі моделі аналізу епідеміологічного процесу, можна виділити з них декілька, що найчастіше використовуються на практиці.

Перша з них використовується для оперативного аналізу та прогнозування епідеміологічної ситуації на загальнодержавному рівні (затверджена П.Н. Бургасовим у 1987 році). Ця модель дає можливість прогнозувати епідопороги. В ній застосовуються методи, що базуються на статистичних даних за останні 5–10 років.

Друга модель (методика) запропонована Барояном-Рвачовим [7]. Вона надає можливість спрогнозувати поширення епідемії по містах України з урахуванням впливу пасажиропотоків як передатчиків (носіїв) епідемії. Дозволяє спрогнозувати поширення захворювань у тому чи іншому місті після занесення в нього вірусу (виявлення перших грипозних захворювань). У цій моделі враховуються імунозахисні можливості в місті, де епідемія виникла. В подальшому це значення уточнюється для кожного міста.

Третя модель запропонована групою авторів під керівництвом К.М. Синяка [10]. Вона використовує методи статистичного прогнозування.

Верифікація усіх перелічених моделей базується на використанні статистики захворюваності під час поточної або минулих епідемій. При цьому використовуються дві основні гіпотези:

- динаміка розвитку епідпроцесу в епідеміях минулих і поточних років схожа, і показники можуть бути використані при кожному новому спалаху грипозної захворюваності;
- динаміка кожної епідемії унікальна, і показники динаміки процесу можуть розраховуватися або по об'єктах, де епідемія вже почалася, або за даними першої третини часу проходження епідемії на даному об'єкті.

Саме на цій концептуальній платформі пропонується розглядати проект проблемно-орієнтованої базової інформаційно-аналітичної розподіленої системи моніторингу і прогнозування, яка в процесі функціонування буде поповнюватися новими статистичними та прогнозними даними, якими користуються епідеміологи при встановленні впливу на поширення тривалості епідемії в залежності від пори року, метеоумов, регіону, пасажиропотоків, типу збудника, оцінки адекватності моделей, поповнюватися новими моделями, які будуть з'являтися.

Відзначимо, що базова система може функціонувати як централізована система, коли всі розрахунки і відображення виконуються по усіх регіонах безпосередньо в інформаційно-аналітичному центрі (ІАЦ) [9] МОЗ України, куди надходить відповідна моніторингова інформація (згідно з встановленим регламентом), так і децентралізовано у складі регіональних підсистем загальнодержавної системи Е-урядування. В цьому випадку прогнозні розрахунки виконуються безпосередньо в регіонах. Вхідні дані теж зберігаються на місцях, а в ІАЦ надходять лише результати прогнозу і статистичні дані для графічного їх відображення. У використанні такої технології важливим архітектурним елементом базової інформаційно-аналітичної системи є ГІС-складова, яка оперативно забезпечує відображення в онлайн-режимі статистичних та прогнозних даних на цифрових мапах України та областей у вигляді графіків, діаграм та ін. (рис. 1).

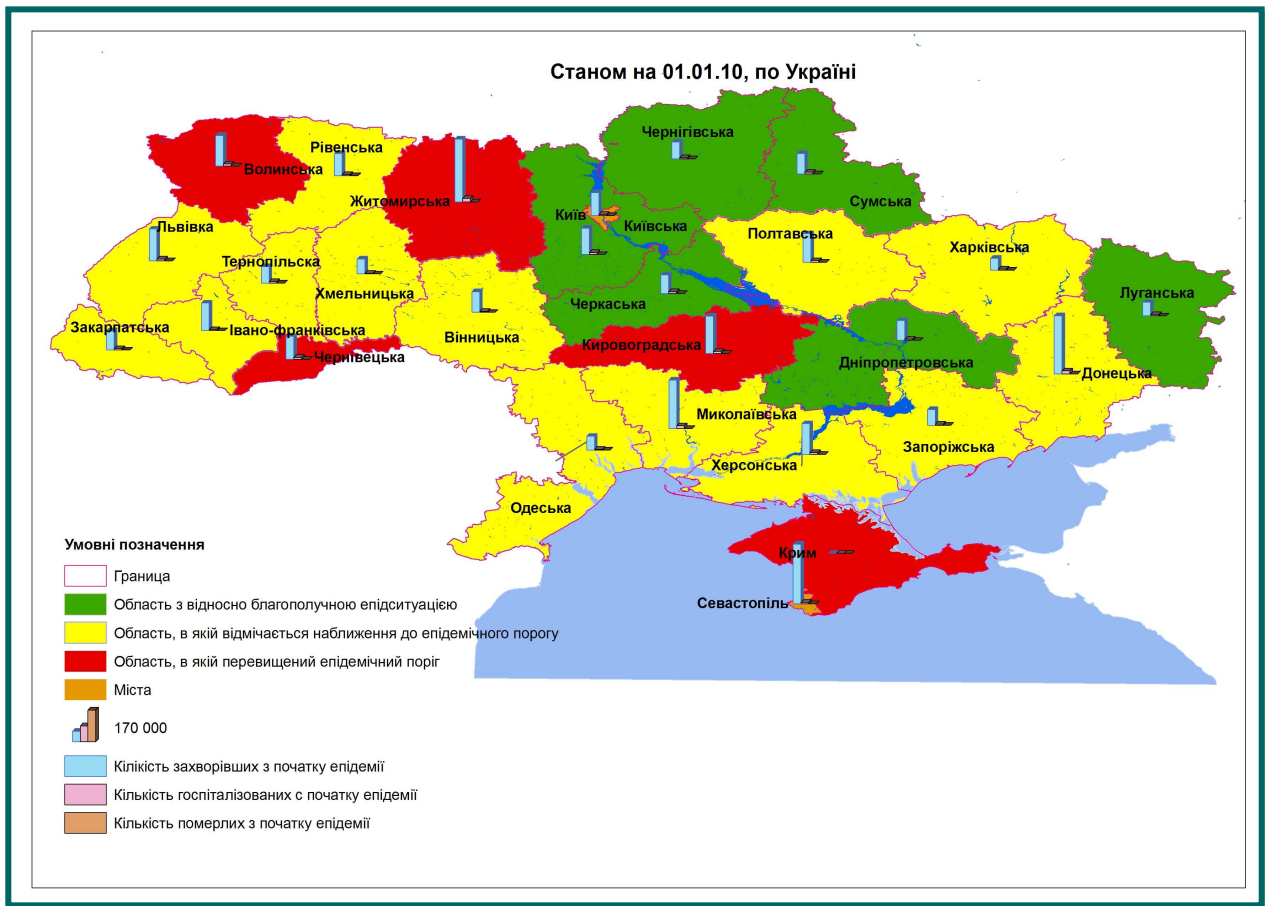


Рис. 1. Епідеміологічна карта України

### 3. Організаційно-технологічні особливості епідеміологічних систем прогнозування

Методологічний прорахунок існуючої практики створення проблемно-орієнтованих інформаційних систем полягає в розділенні “знань про дані об’єкта інформатизації” та “знань про процеси функціонування системи інформатизації”. Як наслідок, користувач “губив” цілісність сприйняття системотвірних орієнтирів формування нових знань стосовно функціонування та розвитку системи в змінених умовах існування.

Сучасні уявлення стосовно архітектури та технології функціонування е-систем моніторингу епідеміологічних процесів почали формуватися з 20-х років. У цей час російським вченим В.А. Базаровим була запропонована технологія поточного аналізу й виявлення тенденцій (трендів) у формуванні та розвитку закономірностей процесів. У кінці 80-х років ця методологія отримала подальший розвиток у роботах американських вчених, якими була сформована концепція так званого «технологічного прогнозування», що базується на аналізі часових рядів показників моніторингу реальних епідпроцесів, з метою виявлення негативних проблем та визначення можливих сценаріїв їх вирішення.

Технологічне прогнозування епідпроцесів при масових інфекційних захворюваннях серед населення проводиться з метою ймовірної оцінки епідемічної ситуації, що складається в передепідемічний та епідемічний періоди. Одночасно з цим, визначаються динаміка розвитку епідемії і очікувані наслідки у найближчій перспективі. Саме на цій платформі відбувається конкретизація задач, що вирішуються в процесі моніторингу і проводиться вибір оптимальних технологій для проведення «пошукового прогнозування».

Зауважимо, що традиційний аналіз розвитку епідемічної ситуації завжди відбувається в межах прийнятих управлінських рішень, спрямованих на локалізацію негативних

наслідків. Виявлення процедур аналізу епідеміологічних процесів доцільно здійснювати поетапно.

На першому етапі проводяться дослідження, пов'язані зі створенням ефективної системи моніторингу за розвитком епідеміологічних процесів. Планування в таких системах відбувається на основі знань про конкретні епідпроцеси – обсяги та зміст накопиченої інформації, технології її обробки, зберігання, передачі і використання. Сюди включаються також знання про розробку сценаріїв моделювання, прогнозування, дослідження операцій, використання інформаційно-комунікаційних технологій.

До останнього часу більшість таких підходів до реалізації «технологічного прогнозування» зводилась до вивчення регламентованих шляхів, що можуть привести до нових технологічних досягнень, які використовуються в охороні здоров'я. При цьому відносно мало уваги приділялося інтелектуальному аналізу нерегламентованих змін причинно-наслідкових зв'язків, що виникають у результаті появи нових можливостей завдяки створенню більш об'ємних сховищ даних та знань для інформаційної й операційної підтримки аналізу.

Саме цей аспект має надзвичайно важливе значення в операціях формування управлінських рішень, пов'язаних з передбаченням епідемій та формуванням заходів ліквідації їх наслідків. У зв'язку з зазначеним, задача технологічного прогнозування епідпроцесів в охороні здоров'я виходить далеко за межі простого вивчення технологічних можливостей, існуючих в ОЗ. В табл. 1 концептуально представлені базові загальносистемні складові (програмні модулі, інформаційно-комунікаційні процедури, блоки управління даними) як метаінструментарій побудови сучасних систем прогнозування епідпроцесів.

З точки зору «інтелектуального сприйняття» результатів моніторингу, епідпроцес – це динамічний процес змін значень апріорі сформованої, відкритої множини  $X(t)$  предметно (проблемно)-орієнтованих ключових параметрів-показників (КПП) цілісного на даний момент часу  $t_i$  інформаційного подання стану процесу:

$$X(t_i) = \{x_1(t_i), x_2(t_i), \dots, x_N(t_i)\}.$$

Деталізація такого подання ЕП виконується шляхом формування його очікуваних проблемних ситуацій з метою визначення відповідних (груп) взаємодіючих КПП одновимірних та багатовимірних підмножин  $X(t_i)$  як  $t_i$  – епідеміологічної ситуації (ЕПС) у вигляді  $ЕПС(t_i) = \bigcup_{j=1}^k y_j(t_i)$ , де група  $y_j = \{x_1^j(t_i), x_2^j(t_i), \dots, x_{m_j}^j(t_i)\}$  – це  $m_j$  – вибірка із  $X(t)$ , при цьому  $m_1 + m_2 + \dots + m_k \geq N$  – як відображення можливого перетину різних вибірок за складом базових елементів, тобто існування пари  $y_l \cap y_p \neq \emptyset$ .

Маючи таку онтологічну схему загальносистемних засобів базової платформи систем моніторингу та прогнозування епідпроцесів, можна приймати різні архітектурні рішення щодо створення конкретної системи моніторингу. Один із варіантів архітектури базової системи приведений на рис. 2.

Таблиця 1. Концептуалізація (онтологізація) загальносистемних засобів базової платформи створення е-систем моніторингу та прогнозування епідпроцесів

Вхідні дані		Інформаційна платформа підтримки та забезпечення		Базові функції та процедури
	⇒	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 5px auto; width: fit-content;">                     База даних статистичної інформації захворюваності  <i>База знань:</i> </div>	↔	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 5px auto; width: fit-content;">                     Логіко-математичні моделі обробки результатів моніторингу та оцінювання ефективності про-                 </div>

Епідеміологічна інфраструктура е-системи моніторингу та прогнозування розвитку епідпроцесів	⇒	онтологічні описи епідпроцесів: показники та їх взаємозалежність, методи оцінювання стану та розвитку; сценарії моніторингу; прогнозовані та непрогнозовані проблемні ситуації	⇔	гнозування
	⇒	Сховище даних результатів моніторингу		Моніторинг захворюваності, виявлення ознак епідемії
		Вітрини даних епідпроцесів: поточний стан, прогнозні дані		Реорганізація сценаріїв моніторингу та онтологічних описів процесів
		Цифрові карти України		Прогнозування та визначення трендів розвитку процесів, виявлення та реєстрація непрогнозованих ситуацій
				Порівняльний аналіз результатів прогнозування за різними моделями, оцінювання моделей
				Онлайн ГІС-процедури відображення результатів
				Модулі взаємодії з органами державної влади за регламентом Е-урядування

Бази зареєстрованих у Сховищі даних на інтервалі  $[t_1, t_i]$  поточних значень КПП у вигляді  $N$  часових рядів (ЧР) як “історії” ЕП може бути спрощені представлено у вигляді такої табличної структури даних.

КПП	Часові ряди
$x_1(t_i)$	$(x_{11}(t_1), x_{12}(t_2), x_{13}(t_3), \dots, x_{1i}(t_i))$
.....	
$x_N(t_i)$	$(x_{N1}(t_1), x_{N2}(t_2), x_{N3}(t_3), \dots, x_{Ni}(t_i))$

Значення  $(x_1^j(t_1), x_2^j(t_2), x_3^j(t_3), \dots, x_{mj}^j(t_i))$

утворюють  $i$ -інтервал прогнозованого значення

$$\hat{y}_j(t_{i+1}) = f(\hat{x}_1(t_{i+1}), \hat{x}_2(t_{i+1}), \hat{x}_3(t_{i+1}), \dots, \hat{x}_{mj}(t_{i+1}))$$

як значення  $f$  полінома апроксимації  $m_j$  –

– групи КПП базового інтервалу прогнозування.

Як поліном пропонується використовувати лінійний поліном авторегресії пересувного середнього [5, 6] для відповідної групи у вигляді  $\hat{y}_j(t_{i+1}) = \alpha_1 \hat{x}_1^j(t_{i+1}) + \alpha_2 \hat{x}_2^j(t_{i+1}) + \alpha_3 \hat{x}_3^j(t_{i+1}), \dots, \alpha_i \hat{x}_{mj}^j(t_{i+1})$ , в якому  $\alpha_j$  можуть розглядатися як (рис. 2).

А також для прогнозу  $\hat{E}\hat{P}\hat{C}(t_{i+1}) = \bigcup_{j=1}^k \hat{y}_j(t_{i+1})$ . Прогноз на  $s$  кроків ( $s$  визначає “горизонт прогнозу”) на інтервалі  $[t_{i+1}, t_{i+s}]$  формується для цих же величин з використанням зсуву  $i$ -бази прогнозу або послідовного використання інтервалів  $[t_2, t_{i+1}]$ ,  $[t_3, t_{i+2}]$ , ...,  $[t_{i+s}, t_{i+s}]$ .

В роботі [6] наведені графіки реальних та прогнозних значень моніторингу епідемії грипу листопад 2009 – січень 2010 рр., які отримані з використанням запропонованих технологій короткострокового прогнозування.

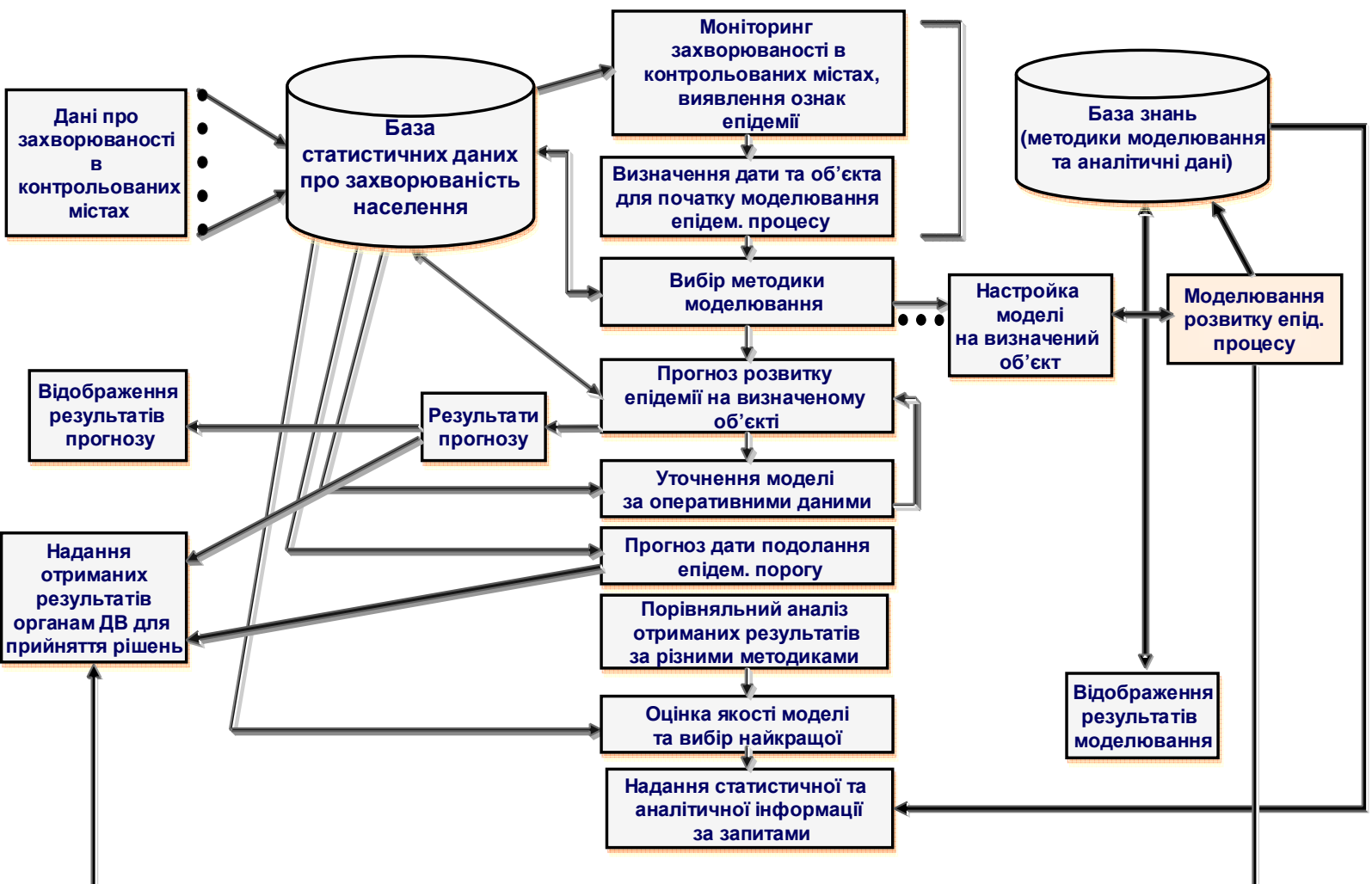


Рис. 2. Архітектура системи моніторингу, прогнозування та відображення розвитку грипозних епідемій

#### 4. Висновки

1. Сформульовані концептуальні засади загальносистемних засобів базової платформи проектування систем моніторингу та прогнозування епідеміологічних процесів у складі Е-урядування.
2. Сформульовані складові операційної та процедурної підтримки технологічного прогнозування епіпроцесів.
3. Запропоновано конкретний варіант архітектури системи.
4. Окремі складові операційної та процедурної підтримки опрацьовані на даних епідемії грипу у листопаді 2009 – січні 2010 рр. Підтверджена ефективність застосування стохастичних та динамічних моделей при короткостроковому прогнозуванні епідеміологічних процесів на регіональному рівні управління.

Перспективи подальших досліджень. Отримані результати дозволяють розширити коло досліджень програмою розробки загальносистемних засад:

- аналізу проблемно-орієнтованих технологій прийняття рішень в е-системах управління;
- методів прогнозування, виявлення та упередження кризових ситуацій у різних галузях діяльності людини.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Лапшин В.А. Онтологии в компьютерных системах / Лапшин В.А. – М.: Научный мир, 2010. – 224 с.
2. В'юн В.І. Інтелектуалізація АСУ: проблеми, напрямки досліджень / В.І. В'юн, Г.Є. Кузьменко, А.О. Морозов // Математичні машини і системи. – 2001. – № 2. – С. 21 – 24.
3. Швабрик Б. Ві Архитектура: Каков лучший выбор для организации // Хранилища данных: сб. – 2008. – С. 68.
4. Гельфанд И.М. Очерки о совместной работе математиков и врачей / Гельфанд И.М., Розенфельд Б.И., Щифрин М.А. – (Серия “Синергетика: от прошлого к настоящему”). – М., 2004. – [2-е изд.]. – 320 с.
5. Дуброва Т.А. Статистические методы прогнозирования: учеб. пособие для вузов / Дуброва Т.А. – Москва: ЮНИТИ-ДАНА, 2003. – С. 206.
6. Об одном подходе к прогнозированию эпидпроцессов с использованием временных рядов / В.И. В'юн, Т.К. Еременко, Г.Е. Кузьменко [и др.] // Математичні машини і системи. – 2011. – № 2. – С. 131 – 136.
7. Бароян О.В. Моделирование и прогнозирование эпидемий гриппа для территории СССР / Бароян О.В., Рвачев Л.А., Иванников Ю.Г. – М.: ИЭМ им. Н.Ф. Гамали, 1977. – С. 546.
8. Сайт МОЗ. – <http://www.moz.gov.ua/ua/portal>.
9. Морозов А.А. Ситуационные центры – технология принятия управленческих решений / А.А. Морозов, Г.Е. Кузьменко // XI Междунар. научно-практ. конф. “Построение информационного общества: ресурсы и технологии” (тезисы докладов). – Киев, 2005. – С. 115 – 123.
10. Синяк К.М. Эпидемиология вирусных инфекций / Синяк К.М. – Киев: Здоровье, 1998. – С. 54–61.

*Стаття надійшла до редакції 01.06.2011*