

В.П. ХОРОЛЬСЬКИЙ, Ю.М. КОРЕНЕЦЬ, К.Д. ХОРОЛЬСЬКИЙ, О.К. КОПАЙГОРА
Донецький національний університет економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського, м. Кривий Ріг

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ МЕДИЧНИМ ОБСЛУГОВУВАННЯМ ТЕРИТОРІЙ З ТЕХНОГЕННИМ ЗАБРУДНЕННЯМ

В роботі розглянуто модифіковані моделі розповсюдження захворювань на територіях з техногенними забрудненнями. Виокремлено три таксоми: А – з високим рівнем забруднення і захворювання людей; В – з середнім рівнем забруднення і захворювання; С – з мінімальним рівнем забруднення і захворювання. Побудовано CASE-моделі забруднення і захворювань, розроблено рекомендації родинному лікарю щодо протоколу лікування та харчування пацієнтів. Наведено інтелектуальну систему управління процесом пошуку індивідуальної траєкторії лікування та харчування за допомогою системи підтримки прийняття рішень, нейромережесих моделей стану і діагностики пацієнтів. Система дозволяє виконати пошук індивідуальної траєкторії лікування пацієнта, поведінки родинного лікаря у випадку критичних ситуацій. Головну роль в CBR-циклі процесу лікування відіграє родинний лікар, який через інтернет-зв'язок пов'язаний з n-родинами та з експертною системою хвороб пацієнта і обчислювальним центром лікарні. Система працює в режимі реального часу і дозволяє запропонувати оптимальні протоколи лікування та харчування пацієнтів.

Ключові слова: територія, забруднення, модель, розповсюдження захворювань, лікування, інтелектуальна траєкторія.

V.P. KHOROLSKYI, YU.M. KORENETS, K.D. KHOROLSKYI, O.K. KOPAYHORA
Donetsk National University of Economics and Trade named after Mikhail Tugan-Baranovsky, Kryvyi Rih

INTELLIGENT SYSTEM OF MEDICAL SERVICES MANAGEMENT OF AREAS WITH TECHNOGENIC POLLUTION

Modified models of spreading of disease in areas with technogenic pollution are considered in the work. There are three taxons isolated: A - with high level of pollution and people's diseases; B - with an average level of pollution and disease; B - the minimum level of pollution and disease. CASE-model of pollution and diseases has been developed. Recommendations to family physician concerning protocol of treatment and nutrition of patients are developed. The intellectual system for managing the process of finding an individual trajectory for treatment and nutrition with the help of decision support system, non-crammed state models and diagnostics of patients is presented. The system allows to search the individual trajectory of patient's treatment and the behaviour of a family doctor in case of critical situations. The family doctor, who is connected via internet with n-families and with the expert system of patient illnesses and the hospital's computer center, plays the main role in the CBR-cycle of the treatment process. The system works in real time and allows to offer optimal protocols of treatment and nutrition of patients.

Keywords: territory, pollution, model, spreading of disease, treatment, intellectual trajectory.

Постановка задачі

В останні роки важливого значення набувають питання діагностики екологічного стану територій з техногенним забрудненням і ефективного медичного обслуговування населення, що мешкають на таких територіях. Україна входить до 30 країн світу, які визначають 90 % захворювань. Особливо велика кількість захворювань людей виникає на територіях з величезним скупченням підприємств гірничо-металургійного комплексу, хімії, виробників чавуну та сталі, цементу тощо. До регіону з техногенними територіями відносяться Придніпровський регіон і його Криворізький мегаполіс з потужним гірничо-металургійним кластером, на території якого мешкає більше 650 тис. людей. Актуальним питанням є розробка автоматизованих систем контролю забруднення території, оцінка якості життя населення, що працює і мешкає на цій території та впровадження інтернет-систем медичного обслуговування.

Аналіз досліджень та публікацій

Вітчизняній науці відомі інформаційно-технічні системи оцінки забруднення природного середовища, а також наукові праці з прогнозування обсягів економічного відшкодування наслідків техногенного забруднення, його впливу на якість життя населення, яке мешкає на цих територіях [1, 2]. Вплив техногенного забруднення на здоров'я людей досліджували В.П. Казначеев, І.М. Комарницький, А.Є. Лисий, В.М. Пономаренко, С.А. Риженко та багато інших вчених [3, 4]. Математичні моделі причинно-наслідкових зв'язків забруднення з кількісними параметрами захворювань досліджували Ріхард К. Дорф і Роберт Х. Бішоп [5]. Високо оцінюючи наукові досягнення щодо розв'язання наведених проблем, треба відзначити відсутність сучасних автоматизованих систем управління інтернет-медичним обслуговуванням людей, які мешкають на територіях з техногенним тиском і індивідуальною стратегією лікування.

Метою роботи є ідентифікація території з техногенним забрудненням та розробка з використанням нейронних мереж інтелектуальної моделі формування індивідуальної траєкторії лікування.

Виклад основного матеріалу дослідження

Для розв'язання основної задачі визначення та ідентифікації ступеня забруднення території її техногенності, розпізнавання впливу аномальних явищ на здоров'я, використаємо нейронну мережу Кохонена [6]. В якості основного класифікаційного чинника техногенності території будемо вважати здоров'я людей, частоту їх захворюваності. Будемо вважати, що населення, яке мешкає на території з техногенним тиском, можна розділити на таксоми виду:

зона А з високим рівнем забруднення і високим рівнем захворювання;
 зона В з середнім рівнем забруднення і низьким рівнем захворювання;
 зона С віддалена від аномальних явищ території з мінімальним рівнем захворювання.

З метою ідентифікації ситуацій і побудови математичних моделей техногенних територій будемо використовувати:

нечіткі моделі, з нейронмережовим оцінюванням ситуацій (класифікація ситуацій) [6, 7];

оцінку розташування зон забруднення і захворювань за допомогою системи диференціальних рівнянь, розроблених відомими американськими вченими Р. Дорф та Р. Бішоп [5].

Населення, яке проживає на території з техногенними явищами, поділимо на три групи $\{x_1\}$, $\{x_2\}$, $\{x_3\}$.

Зона А, до якої віднесемо групу людей $\{x_1\}$, яка працює і проживає на території з найбільшим рівнем забруднення. Населення цієї зони найбільш схильне до захворювань.

Зона В, до якої відносимо групу людей $\{x_2\}$, яка проживає і працює на ділянках техногенної території, віддалених від аномальних явищ і промислових зон шахт, кар'єрів, збагачувальних фабрик, аглофабрик, виробництв металургійного заводу «АрселорМіттал Кривий Ріг» не менше 1000 м від аномальних явищ.

Зона С, до якої відносимо групу людей $\{x_3\}$, яка проживає на ділянках з найкращою, тобто квазічистою територією. Ця група людей не працює в зонах техногенного забруднення, а отже ймовірність захворювання близька до 0.

Систему диференціальних рівнянь, яка описує захворювання людей груп $\{x_1\}$, $\{x_2\}$, $\{x_3\}$, представимо у вигляді системи рівнянь виду:

$$\begin{aligned} \frac{dx_1}{dt} &= -\alpha x_1 - \beta x_2 + u_1(t) \\ \frac{dx_2}{dt} &= \beta x_1 - \gamma x_2 + u_2(t) \\ \frac{dx_3}{dt} &= \alpha x_1 + \gamma x_2 \end{aligned} \quad (1)$$

Швидкість, з якою з'являються нові люди з схильністю до переходу на роботу в техногенні зони з високим рівнем забруднення і високою ймовірністю захворювання $u_1(t)$. Швидкість, з якою з'являються нові захворювання в дещо віддалених зонах, буде дорівнювати $u_2(t)$. Для умов чисто-екологічної зони $u_1(t) = u_2(t) = 0$. В нашій системі ми маємо фізичні зміни стану $\{x_1\}$, $\{x_2\}$, $\{x_3\}$. На рис. 1 наведено сигнальний граф, який віддзеркалює систему диференціальних рівнянь. Рівняння стану у векторно-математичній формі має вигляд:

$$\frac{d}{dt} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -\alpha & -\beta & 0 \\ \beta & -\gamma & 0 \\ \alpha & \gamma & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} u_1(t) \\ u_2(t) \end{pmatrix} \quad (2)$$

Аналіз рівняння (1) показує, що сигнальний граф, який віддзеркалює ситуацію, коли зміна стану x_3 залежить від x_1 та x_2 , але не впливає суттєво. Розглянемо групу людей, що проживає на екологічно чистій території, для якої

$$u_1(t) = u_2(t) = 0. \quad (3)$$

Положення рівноваги системи в просторі станів відповідає $\frac{dx}{dt} = 0$.

Аналіз рівняння (2) показує, що система буде знаходитись в рівновазі, коли $x_1 = x_2 = 0$. Щоб визначити, чи буде зменшуватись захворюваність (або чи зупиняться захворювання) в зонах групи людей $\{x_1\}$, $\{x_2\}$, необхідно одержати характеристичне рівняння системи.

Сигнальний граф на рис. 1 має три контури, два з яких не дотикаються один до одного, тому визначник графа:

$$\Delta(s) = 1 - (-\alpha s^{-1} - \gamma s^{-1} - \beta^2 s^{-2}) + \alpha \gamma s^{-2} \quad (4)$$

Характеристичне рівняння має вигляд:

$$q(s) = s^2 \Delta(s) = s^2 + (\alpha + \gamma)s + (\alpha\gamma + \beta^2) = 0 \quad (5)$$

Оскільки $(\alpha + \gamma) > 0$ і $(\alpha\gamma + \beta^2) > 0$, то корені цього характеристичного рівняння лежать в лівій s площині, а отже, вільний рух системи при $t \rightarrow \infty$ наближається до 0.

Оцінимо динаміку можливих захворювань в зонах А, В, С.

Якщо вважати в рівнянні (5) $\alpha = \beta = \gamma = 1$, то тоді запишемо:

$$x = \begin{pmatrix} -1 & -1 & 0 \\ 1 & -1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 \end{pmatrix} x + \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} u \quad (6)$$

Характеристичне рівняння системи (6) має вигляд $s^2 + 2s + 2 = 0$, а, відповідно, його корені – комплексні.

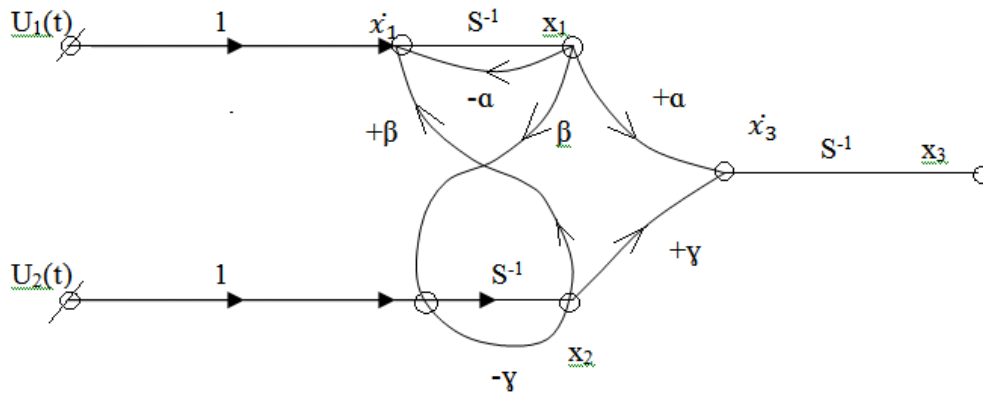


Рис. 1. Сигнальний граф, який відзеркалює розповсюдження захворювань на техногенній території

Визначимо динаміку захворювань, вважаючи, що швидкість появи нових схильних до нього груп людей дорівнює 0, тобто $u_1 = 0$.

Швидкість появи нових захворювань будемо визначати як $u_2(0) = 1$ та $u_2(K) = 0$ при $K \geq 1$. Це означає, що в початковий момент часу з'явиться лише один хворий (що еквівалентно імпульсному вхідному впливу). Постійна часу, яка відповідає комплексним кореням $\frac{1}{\lambda_{1,2}} = 1\sigma$, тому вибираємо $T = 0,2\text{с}$. (Відмітимо, що в дійсності час може вимірюватися місяцями, а вхідний вплив – тисяча людей).

Напишемо рівняння в дискретній формі:

$$x(K+1) = \begin{bmatrix} 0,8 & -0,2 & 0 \\ 0,2 & 0,8 & 0 \\ 0,2 & 0,2 & 1 \end{bmatrix} x(K) + \begin{bmatrix} 0 \\ 0,2 \\ 0 \end{bmatrix} u_2(K) \quad (7)$$

Реакція системи в перший момент часу $t = T$, тобто при $K = 0$ й за умови, що $x_1(0) = x_2(0) = x_3 = 0$ дорівнює

$$x(1) = \begin{bmatrix} 0 \\ 0,2 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (8)$$

Після цього вхід $u_2(K)$ при $K \geq 1$ стає рівним нулю, і в момент $t = 2T$ реакція системи:

$$x(2) = \begin{bmatrix} 0,8 & -0,2 & 0 \\ 0,2 & 0,8 & 0 \\ 0,2 & 0,2 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0,2 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0,04 \\ 0,18 \\ 0,04 \end{bmatrix} \quad (9)$$

Аналогічно в момент $t = 3T$ одержимо:

$$x(3) = \begin{bmatrix} 0,8 & -0,2 & 0 \\ 0,2 & 0,8 & 0 \\ 0,2 & 0,2 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -0,04 \\ 0,16 \\ 0,04 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0,064 \\ 0,120 \\ 0,064 \end{bmatrix} \quad (10)$$

Розглянемо нелінійну модель захворювань людей, що проживають на територіях з техногенним забрудненням:

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= -\alpha x_1 - \beta x_1 x_2 + u_1(t) \\ \dot{x}_2 &= \beta x_1 x_2 - \gamma x_2 + u_2(t) \\ \dot{x}_3 &= \alpha x_1 + \gamma x_2 \end{aligned} \quad (11)$$

В цій моделі взаємодію між групами людей, що проживають на території, представлено нелінійним членом $x_1 x_2$, як і раніше будемо вважати, що $\alpha = \beta = \gamma = 1$

$$u_1(t) = 0, u_2(0), u_2(K) = 0 \text{ при } K \geq 1$$

Виберемо крок дискретності $T=0,2\text{с}$ і задаємо початкові умови у вигляді:

$$x^T(0) = [100]$$

Тоді, підставляючи в рівняння (11) значення $t = KT$

$$x_i^T(K) = \frac{x_i(K+1) - x_i(K)}{T} \quad (12)$$

одержимо:

$$\frac{x_2(K+1) - x_2(K)}{T} = -x_1(K) - x_1(K)x_2(K), \frac{x_2(K+1) - x_2(K)}{T} = x_1(K)x_2(K) - x_2(K) + u_2(K), \frac{x_2(K+1) - x_2(K)}{T} = x_1(K) + x_2(K) \quad (13)$$

Вираз із цих рівнянь $x_1(K+1)$ і, враховуючи, що $T=0,2\text{с}$, одержимо:

$$x_1(K+1) = 0,8x_1(K) - 0,2x_1(K)x_2(K)$$

$$\begin{aligned}x_2(k+1) &= 0,8x_2(k) + 0,2x_1(k)x_2(k) + 0,2U_2(k) \\x_3(k+1) &= x_1(k) + 0,2x_1(k) + 0,2x_2(k)\end{aligned}\quad (14)$$

Тоді в перший момент часу при $t = T$ маємо наступне:

$$\begin{aligned}x_1(1) &= 0,8x_1(0) = 0,8 \\x_2(1) &= 0,2x_2(0) = 0,2 \\x_3(1) &= 0,2x_1(0) = 0,2\end{aligned}\quad (15)$$

Ще раз використаємо (15) і враховуючи, що $u_2(1) = 0$ одержимо наступні рівняння:

$$\begin{aligned}x_1(2) &= 0,8x_1(1) - 0,2x_1(1)x_2(1) = 0,608 \\x_2(2) &= 0,8x_2(1) + 0,2x_1(1)x_2(1) = 0,192 \\x_3(2) &= x_3(1) + 0,2x_1(1) + 0,2x_2(1) = 0,40\end{aligned}$$

Аналогічно, при $t = 3T$ маємо:

$$\begin{aligned}x_1(3) &= 0,463 \\x_2(3) &= 0,177 \\x_3(3) &= 0,56\end{aligned}$$

Подальші розрахунки не викликають проблем.

Відмітимо, що нелінійна модель більш точно віддзеркалює проблему захворювань на території з техногенним забрудненням.

Розрахунок часових характеристик лінійних систем легко виконати наступним шляхом: використання перехідної матриці стану;

за допомогою дискретної моделі апроксимації рівняння стану системи.

Для нелінійних систем найбільш простим методом є метод дискретизації рівняння стану. Метод дуже простий при чисельних розрахунках на комп'ютерах і дозволяє побудувати цифрову CBR-систему контролю захворювань населення, яке мешкає на території з техногенним тиском.

Робота реалізованого прототипу CBR-циклу системи розглянута детально в [7] і дозволяє на основі бібліотеки прецедентів (БП), повторного здобуття прецедентів з метою рішення поточної проблеми – оцінки стану пацієнта, який проживає на забрудненій території, та виконати навчання системи НМ-стану пацієнта, створення інтелектуальної моделі формування індивідуальної траєкторії лікування. У загальному вигляді модель уявлення прецедента включає опис ситуації забруднення території, стану хворого і рішення для даної ситуації рівняння виду:

$$CASE = (situation, solution),$$

де **situation** – ситуація, яка описує прецедент хвороби; **solution** – рішення (наприклад, діагноз хвороби, протокол лікування, тип лікувального харчування тощо). У нашому випадку (достатньо простого параметричного уявлення про стан хворого), модель запишемо у вигляді набору параметрів з конкретними значеннями і рішеннями:

$$\begin{aligned}CASE &= (x_1, x_2, \dots, x_n, R_m), \\CASE &= (y_1, y_2, \dots, y_n, R_n)\end{aligned}\quad (16)$$

де x_1, x_2, \dots, x_n – це параметри ситуації, які описують ступінь забруднення і стану хворого, тобто параметри, які визначають зв'язок між таксонами А, В, С і захворюваннями; R_m – рішення (діагноз та рекомендації ОПР – родинному лікарю (РЛ)). При цьому $x_1 \in X_1, x_2 \in X_2, x_n \in X_n$, де X_1, X_2, X_n – область допустимих значень відповідних параметрів; y_1, y_2, \dots, y_n – параметри ситуації, які описують ступінь безпечного харчування людей, що мешкають на території з техногенним забрудненням; R_n – рекомендації щодо харчування пацієнтів [8, 9]. Задачу експертного діагностування зведемо до задачі класифікації і розпізнавання ситуації забруднення, хвороби і рішення. На вхід прототипу CBR-системи подається ситуація, а на моніторі ПК родинного лікаря буде представлено прецедент, який відповідає оптимальній траєкторії лікування або інші рекомендації виду: перевести пацієнта в палату реабілітації тощо. На рис. 2 наведено інтелектуальну систему управління процесом пошуку індивідуальної траєкторії лікування пацієнтів.

В системі використані сучасні інтелектуальні системи підтримки прийняття рішень ІСППР, методи суджень на основі терморальних прецедентів, які реалізовані з використанням немережових моделей (блок НМ-модель стану пацієнта і блок діагностика пацієнта). Прецедентний підхід дозволяє спростити процес прийняття рішень в умовах обмежень часу щодо прийняття рішень і визначення протоколу лікування, а також в умовах невизначеності щодо вихідних даних пацієнта і експертних значень, які накопичені в експертній системі хвороб пацієнта (ЕСХП). Система дозволяє виконати пошук індивідуальної траєкторії лікування пацієнта, поведінки родинного лікаря у випадку аномальних (критичних) ситуацій. Головну роль в CBR-циклі процесу лікування відіграє ОПР – родинний лікар, який через інтернет зв'язаний з родинами IP_1, IP_2, \dots, IP_n , а також через систему персональних комп'ютерів ПК з ЕСХП і обчислювальним центром лікарні (ОЦЛ), розробляє протокол лікування пацієнта. У цьому випадку, ОПР довіряє лише достовірній інформації або інформації, яку РЛ одержує від блоку ЕСХП, яка надходить на персональний комп'ютер ПКЛ-лікаря.

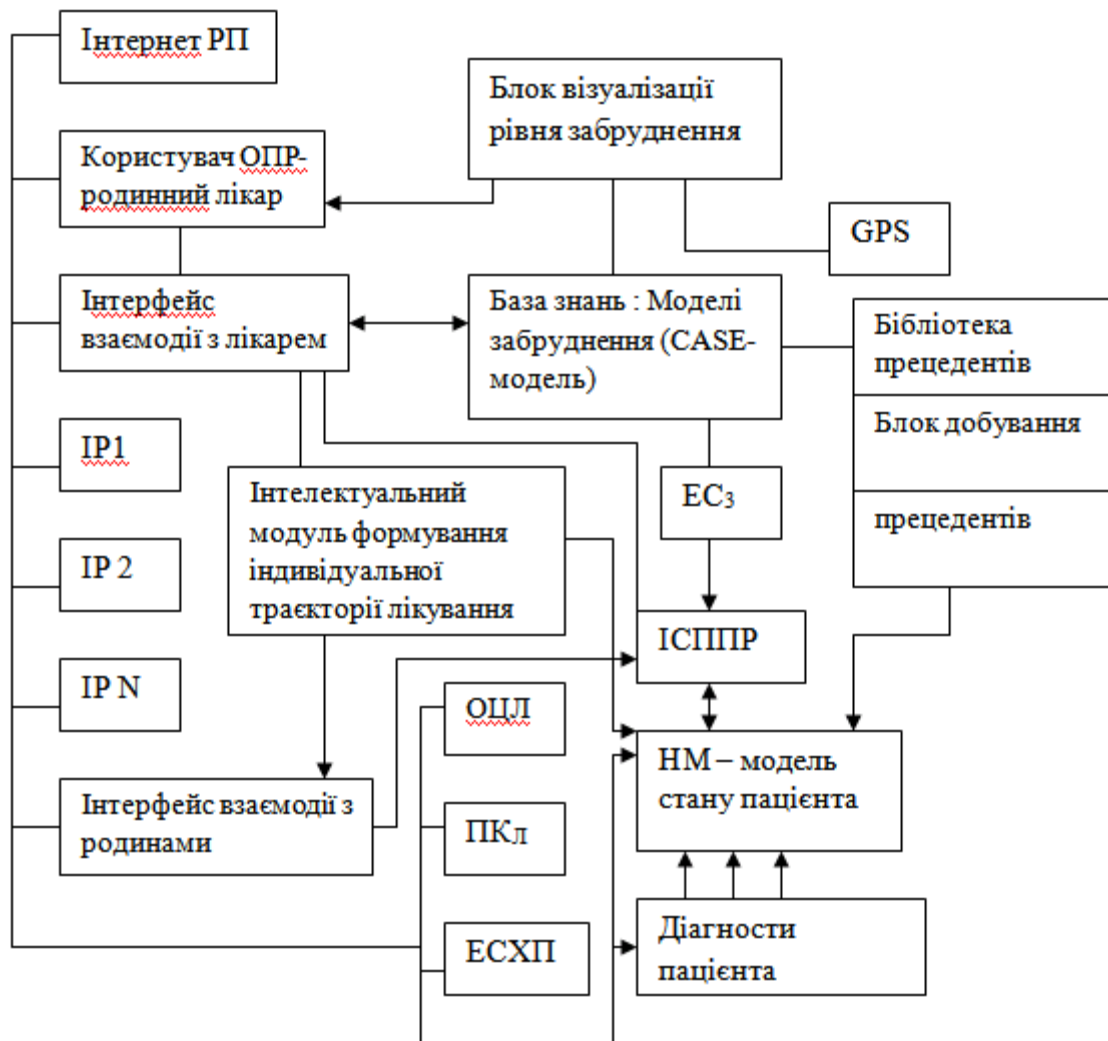


Рис. 2. Інтелектуальна система управління процесом пошуку індивідуальної траєкторії лікування

Головна вимога до систем ІСППР – забезпечення режиму реального часу за рахунок інтерфейсів, блока візуалізації і рівня забруднення території, системи GPS та бази знань. Іншим важливим елементом є блок НМ-модель стану пацієнта, побудована за принципом організації і функціонування біологічних нейронних мереж [7]. СBR-модуль ІСППР використовується також для оцінки критичного стану пацієнта, а за допомогою експертної системи ЕС₃ виконано оцінку ступеня забруднення території.

Таким чином, розв'язок задачі виконано на прикладі експертного діагностування родинним лікарем, РЛ через інтернет-технології сезонних захворювань людей на територіях, які описують таксономії виду А, В, С та процес виконання протоколу лікування й надання через родинний інтернет IP₁, IP₂,..., IP_n за допомогою ІСППР наступних рекомендацій:

- відправити пацієнта на лікування;
- продовжити пошук оптимального протоколу лікування, шляхом одержання додаткової інформації про стан пацієнту;
- використати протокол лікувального харчування;
- формування індивідуальної траєкторії лікування;
- невідомі проблеми захворювання (звернення до спеціалізованих лікарень);
- виписати пацієнта.

Висновки

Використання в складі СBR-технологій сучасних ІСППР методів пошуку рішень на основі прецедентів дозволяє побудувати інтелектуальні системи управління медичним обслуговуванням території з техногенним забрудненням.

Такий концептуальний підхід до побудови системи мінімізації захворювань населення, що мешкає на території з високим рівнем забруднення, дає можливість створити в регіоні та криворізькому мегаполісі сучасну систему охорони здоров'я, а саме мережі лікарень, родильних домів, клінік, амбулаторій тощо. Ці заходи повинні бути направлені на різке падіння смертності, у тому числі немовлят, збільшення в рази народжуваності (по відношенню до 2014 р.), стабілізацію цін на медпрепарати, ліки й медобслуговування.

Література

1. Управління інноваційним розвитком підприємств регіону з техногенними територіями / В.П. Хорольський, О.В. Хорольська, К.Д. Хорольський, К.Г. Рябікіна, Н.І. Рябікіна, І.П. Діанов, А.В. Романів, Д.Д. Гайдай / за ред. проф. В.П. Хорольського. – Кривий Ріг : Видавець ФОП Чернявський Д.О. – 2018. – 496 с.
2. Антонюк О.П. Прогнозування обсягів економічного відшкодування наслідків техногенного забруднення криворізького регіону : монографія / О.П. Антонюк, І.М. Пістунів. – Дніпропетровськ : Національний гірничий університет, 2013. – 18 с.
3. Экологические и социально-гигиенические проблемы и пути оздоровления крупного промышленного региона : моногр. / [А.Е. Лысый, С.А. Рыженко, И.П. Казярин и др.] – Кривой Рог : ООО «Этюд-Сервис», 2007. – 428 с.
4. Пономаренко В.М. Проблеми удосконалення системи управління в галузі охорони здоров'я і шляхи їх вирішення / В.М. Пономаренко, О.М. Ціборовський // Вісник соціальної гігієни та організації охорони здоров'я. – 2003. – № 2. – С. 5–8.
5. Dorf R. Современные системы управления / Р. Dorf, Р. Бишоп ; пер.с англ. Б.И. Копылова. – М. : Лаборатория Базовых Знаний, 2004. – 832 с.
6. Aamodt A. Case-Based Reasoning: Foundational Issues, Methodological Variations and System Approaches / A. Aamodt, E. Plaza // Artificial Intelligence Communications IOS Press. – 1994. – Vol. 7. № 1. – P. 39–59.
7. Уоссермен Ф. Нейрокомпьютерная техника: Теория и практика / Уоссермен Ф. – М. : Мир, 1992.
8. Valentyn Khorolskyi, Aleksandr Bavyko, Svitlana Yermak, Yekateryna Riabykina, Kostiantyn Khorolskyi (2018). Innovative Functional Food Products for the Workers of the Mining Industry. Journal of Hygienic Engineering and Design, Vol. 24, pp. 55–62.
9. Valentyn Khorolskyi, Svitlana Yermak, Aleksandr Bavyko, Yuriy Korenets, Nataliia Riabykina (2018). Technological Complex of Automated Control and Management of Water Purification and Bread Production with Robotic Technologic Intensifiers. Journal of Hygienic Engineering and Design, Vol. 25, pp. 112–120.

References

1. Upravlinnia innovatsiynym rozvytkom pidpriemstv rehionu z tekhnohennymy terytoriiamy / V.P. Khorolskyi, O.V. Khorolska, K.D. Khorolskyi, K.H. Riabykina, N.I. Riabykina, I.P. Diianov, A.V. Romaniv, D.D. Haidai / za red. prof. V.P. Khorolskoho. – Kryvyi Rih : Vydavets FOP Cherniavskiy D.O. – 2018. – 496 s.
2. Antoniuk O.P. Prohnozuvannya obsiahiv ekonomichnoho vidshkoduvannya naslidkiv tekhnogennoho zabrudnennia kryvorizkoho rehionu : monohrafiia / O.P. Antoniuk, I.M. Pistunov. – Dnipropetrovsk : Natsionalnyi hirnnychiy universytet, 2013. – 18 s.
3. Ekologicheskie i sosialno-gigienicheskie problemy i puti ozdorovleniya krupnogo promyshlennogo regiona : monogr. / [A.E. Lysyj, S.A. Ryzhenko, I.P. Kazyarin i dr.] – Krivoj Rog : ООО «Etyud-Servis», 2007. – 428 s.
4. Ponomarenko V.M. Problemy udoskonalennia systemy upravlinnia v haluzi okhorony zdorovia i shliakhy yikh vyrishennia / V.M. Ponomarenko, O.M. Tsiborovskiy // Visnyk sotsialnoi hihiieny ta orhanizatsii okhorony zdorovia. – 2003. – № 2. – S. 5–8.
5. Dorf R. Sovremennye sistemy upravleniya / R. Dorf, R. Bishop ; per.s angl. B.I. Kopylova. – M. : Laboratoriya Bazovyh Znanij, 2004. – 832 s.
6. Aamodt A. Case-Based Reasoning: Foundational Issues, Methodological Variations and System Approaches / A. Aamodt, E. Plaza // Artificial Intelligence Communications IOS Press. – 1994. – Vol. 7. № 1. – P. 39–59.
7. Uossermen F. Neirokompyuternaya tehnika: Teoriya i praktika / Uossermen F. – M. : Mir, 1992.
8. Valentyn Khorolskyi, Aleksandr Bavyko, Svitlana Yermak, Yekateryna Riabykina, Kostiantyn Khorolskyi (2018). Innovative functional food products for the workers of the mining industry. Journal of Hygienic Engineering and Design, Vol. 24, pp. 55–62.
9. Valentyn Khorolskyi, Svitlana Yermak, Aleksandr Bavyko, Yuriy Korenets, Nataliia Riabykina (2018). Technological complex of automated control and management of water purification and bread production with robotic technologic intensifiers. Journal of Hygienic Engineering and Design, Vol. 25, pp. 112–120.

Рецензія/Peer review : 24.06.2019 р.

Надрукована/Printed : 18.7.2019 р.

Рецензент: д.т.н., проф. О.С. Зеленський