

УДК 004.94:617.758.1



Д.В. Кухаренко

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського,
м. Кременчук, Україна, dimon-dimonovich@mail.ru

ПОБУДОВА МОДЕЛІ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ КОМП'ЮТЕРНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ РЕЗУЛЬТАТУ ОПЕРАТИВНИХ ВТРУЧАНЬ НА ОКОРУХОВИХ М'ЯЗАХ ЛЮДИНИ

Побудовано та проаналізовано математичні моделі трьох нейронних мереж. Порівняльний аналіз запропонованих нейронних мереж показав, що нейронна мережа, яку побудовано і навчено з використанням значень ймовірностей результатів хірургічного втручання, навчається швидше і не схильна до перенавчання. Синтезовано структурну схему комп'ютерної системи передопераційного планування хірургічної корекції патології окорухового апарату людини.

НЕЙРОННА МЕРЕЖА, ПЕРЕДОПЕРАЦІЙНЕ ПЛАНУВАННЯ, ТЕСТУВАННЯ, ВИБІРКА, КОМП'ЮТЕРНА СИСТЕМА

Вступ

Як відомо, важливою проблемою сучасної медицини є створення ефективних методів дозування та прогнозування оперативних втручання при різних патологіях, тобто передопераційне планування. Це необхідно для того, щоб хірург міг оцінити не тільки якісно, але і кількісно наслідки оперативних втручання, а також період реабілітації для кожного пацієнта окремо. Виконати це можливо за допомогою адекватної і спеціально побудованої для цього нейронної мережі. З економічної точки зору використання нейронних мереж в біомедицині є доцільним і високоприбутковим [4].

Постановка задачі. Прийняття рішень у медичній практиці завжди припускає якусь міру невизначеності. Невизначеність – найбільш складна ситуація для ухвалення рішення. Тобто застосування систем передопераційного планування на основі нейронної мережі може значно прискорити або спростити роботу лікаря, допомогти йому уникнути власних помилок. Завданням таких систем є визначення основних параметрів потрібних для передопераційного планування. Проте оскільки комп'ютерна система не може нести ніякої відповідальності за отриману з її допомогою інформацію, то вважається, що система передопераційного планування виступає тільки як консультант.

Метою роботи є створення нейронної мережі для допомоги лікарю-офтальмологу з планування оперативних втручання на окорухових м'язах людини, яка входить до складу комп'ютерної системи передопераційного планування хірургічної корекції патології окорухового апарату людини, а також синтез структурної схеми цієї системи [5]. Нейронна мережа повинна ґрунтуватися на базі даних результатів вдалих операцій, які вже було проведено кваліфікованими офтальмо-хірургами. Для повноцінної роботи нейронної мережі необхідно визначитися з двома входними параметрами: кутом відхилення очного яблука від первинної позиції та радіусом ока [6].

1. Матеріал і результати досліджень

Для вирішення завдання передопераційного планування розроблено різні методи, які залежать від типу системи, що реалізується, та її призначення [2, 3, 7, 8]. Розробляються системи, засновані на статистичних і інших математичних моделях, – їх основою служать математичні алгоритми, що займаються пошуком зазвичай часткової відповідності між входними параметрами спостережуваного пацієнта і входними параметрами пацієнтів, діагнози яких були раніше відомі.

Методи прийняття рішень можна розділити на формалізовані (математичні) і неформалізовані (штучний інтелект) [1]. Визначення результату прогнозування можна представити як подію, яка виникає при виявленні сукупності входних даних про патологію окорухового апарату у пацієнта. Ймовірність настання деякої події може приймати значення від 0 (подія ніколи не настане тобто не буде здійснено передопераційне планування або результат планування буде помилковий) до 1 (подія настане у будь-якому випадку тобто результат планування буде вірний). Ймовірність позначимо символом $P(H)$, де H – гіпотетична подія, що цікавить нас. Якщо $\bar{H}$ – ймовірність настання події $\bar{H}$, то є також ймовірність ненастання цієї події $P(\bar{H})$. Обидві величини зв'язані співвідношенням $P(H) + P(\bar{H}) = 1$.

Спільна ймовірність настання двох подій, наприклад, ймовірність одночасного існування гіпотетичної події H (результату передопераційного планування) і розрахованого моменту сили деякої ділянки відповідного окорухового м'яза S позначається $P(H \& S)$. Умовну ймовірність настання події H за умови, що подія S уже настала, позначимо $P(H:S)$.

У загальному випадку: $P(H \& S) = P(S) \cdot P(H:S)$. Аналогічно: $P(H \& S) = P(H) \cdot P(H:S)$.

Оскільки

$$P(H \& S) = P(H \& S), \text{ то й } P(S) \cdot P(H:S) = P(H) \cdot P(H:S), \text{ тобто } P(H:S) = P(H) \cdot P(H:S) / P(S).$$

Отже, ймовірність настання події H за умови наявності події S дорівнює ймовірність події H помноженої на апіорну ймовірність настання події S за умови наявності події H , і діленої на повну ймовірність події S .

Повною системою подій називається сума ймовірностей несумісних подій, тобто подій, ймовірність сумісної появи яких дорівнює нулю. Повну ймовірність події S можна представити, як суму умовної ймовірності настання події S за умови наявності події H і умовної ймовірності настання події S за умови відсутності події H , тобто:

$$P(S) = P(S:H) \cdot P(H) + P(S:\bar{H}) \cdot P(\bar{H}).$$

(Оскільки обое додатків залежні, сума їхніх ймовірностей не завжди є одиниця). Тепер необхідно визначити остаточний варіант формули, що відома, як формула Байєса:

$$P(H:S) = P(S:H) \cdot P(H) / (P(S:H) \times P(H) + P(S:\bar{H}) \cdot P(\bar{H})).$$

Коли обчислено ймовірності всіх результатів хірургічного втручання, що плануються, система сортує їх за спаданням й пред'являє користувачеві оптимальний варіант дозування оперативних втручань для конкретного хворого. Можливо також застосування розтягнутої шкали відповідей. Тобто якщо досвідчений хірург відповідає, наприклад, по шкалі $A = -5 \dots 0 \dots +5$, то варто обчислити обидва результати (для відповіді "тверде ТАК" — $P(H:S)$, і для відповіді "тверде НІ" — $P(H:(S))$, а потім обчислити їхню зважену суму за формулою:

$$P(H:S) = P(H:S) \cdot P(A) + P(H:(S)) \cdot (1 - P(A)),$$

де $P(A) = 0,5 + 0,1 \cdot A$.

Розглянута шкала відповідей застосовується у комп'ютерній системі передопераційного планування тільки в період навчання. Після навчання, коли комп'ютерна система може приймати рішення самостійно, вона не потрібна.

Розглянемо штучний нейрон (нейроподібний елемент), який представляє собою елементарний обчислювальний пристрій, що має обмежений об'єм пам'яті, яка реалізована у вигляді вагових коефіцієнтів і функціонує у відповідності до наступної схеми:

$$y = \psi(\phi(x, w)),$$

де $x = \{x_i\}$ — множина входів нейрона, x_i — значення сигналу на i -м вході нейрона ($i=1, 2, \dots, N$), N — кількість входів нейрона, $w = \{w_0, w_1, w_2, \dots, w\}$ — набір вагових коефіцієнтів (або пам'ять) нейрона, ϕ — дискримінантна функція нейрона, ψ — функція активації нейрона, y — значення сигналу на виході нейрона [10].

Як дискримінантну функцію нейрона необхідно використати зважену суму вхідних сигналів:

$$\phi(x, w) = w_0 + \sum_{i=1}^N w_i x_i,$$

або функцію відстаней між вектором вхідних сигналів і вектором вагових коефіцієнтів:

$$\phi(x, w) = \|x - w\| = \sum_{i=1}^N (x_i - w_i)^2.$$

Як функцію активації найчастіше застосовують:

$$\text{— порогову: } \psi(S) = \begin{cases} 0, & S \leq Q \\ 1, & S > Q \end{cases},$$

$$\text{— лінійну: } \psi(S) = kS;$$

$$\text{— сигмоїдальну: } \psi(S) = \frac{1}{1 + e^{-S}},$$

де $S = \phi(x, w)$, Q — порогова величина.

У відомому персептроні Розенблатта [9], що складається із сенсорного, асоціативного і регульованого шарів, не завжди досягається оптимальна складність, оскільки зв'язки між першим і другим шаром на думку автора повинні бути надлишковими і випадковими. Також існують методи випадкового пошуку для зниження надмірності зв'язків, при цьому вибираються такі з них, що здатні знизити величину емпіричної функції втрат. У рамках цього методу пошук шуканої структури, що містить один асоціативний шар із заданого числа нейронів, завершується при досягненні встановленої кількості невдалих спроб знизити величину функції втрат. Внесені ззовні обмеження призводять до того, що шукана структура нейронної мережі виявляється умовно оптимальною.

2. Побудова нейронних мереж для передопераційного планування

Як вузьку предметну область було обрано деякі можливі оперативні втручання з приводу косоокості, а саме:

- 1) рецесія відповідного очорухового м'яза та обертання ока відносно осі OX зправа наліво;
- 2) рецесія відповідного очорухового м'яза та обертання ока відносно осі OX зліва направо;
- 3) рецесія відповідного очорухового м'яза та обертання ока відносно осі OZ вверху вниз;
- 4) рецесія відповідного очорухового м'яза та обертання ока відносно осі OZ знизу вверху;
- 5) рецесія відповідного очорухового м'яза та обертання ока відносно осі OY за годинниковою стрілкою;
- 6) рецесія відповідного очорухового м'яза та обертання ока відносно осі OY проти годинникової стрілки;
- 7) резекція відповідного очорухового м'яза та обертання ока відносно осі OX зправа наліво;
- 8) резекція відповідного очорухового м'яза та обертання ока відносно осі OX зправа наліво;
- 9) резекція відповідного очорухового м'яза та обертання ока відносно осі OZ вверху вниз;
- 10) резекція відповідного очорухового м'яза та обертання ока відносно осі OZ знизу вверху;
- 11) резекція відповідного очорухового м'яза та обертання ока відносно осі OY за годинниковою стрілкою;

12) резекція відповідного окорухового м'язу та обертання ока відносно осі ОУ проти годинникової стрілки.

Було визначено списки можливих операцій за обчисленими моментами сил деяких ділянок відповідних м'язів і сформована матриця дихотомічних оцінок значимості розрахованих даних (табл. 1). Також було розроблено і програмно реалізовано базову версію нейронної мережі стандартної архітектури – персептрон, що має 30 входів, 12 виходів і один схований шар. Функція активації прихованого шару – лінійна. Функція активації вихідного шару – сигмоїдальна. Вхідним сигналом мережі є вектор оцінок ступеня виразності симптомів. Значення оцінок ступеня виразності знаходяться в діапазоні (0...1). Фрагмент структури нейронної мережі показаний на рис. 1.

Для навчання і тестування нейронної мережі необхідні навчальна і тестова вибірки. Генерація прикладів здійснювалася по «принципі варіювання даних» – методиці, ідея якої почерпнута з роботи [11]. У експериментах з такими мережами використовувалися три варіанти векторів вагових коефіцієнтів схованого шару, що задаються апріорно. У першому варіанті коефіцієнти були дихотомічними (0 і 1) відповідно до даних табл. 1. У другому варіанті коефіцієнти відповідали умовним ймовірностям наявності розрахованих даних при наявності результатів операцій: $w_{ij} = P(S_i; H_j)$.

У третьому варіанті коефіцієнти обчислювалися за наступною формулою:

$$w_{ij} = P(S_i; H_j) / P(S_i; \bar{H}_j).$$

Тобто, у цьому випадку враховувалися і ймовірності наявності даного моменту сили ділянки i -го м'язу S_i при відсутності даного операційного планування H_j . Схований шар експериментальних мереж містить 12 нейронів за числом можливих операцій.

На рис. 2 показано процес та динаміку навчання мереж. Видно, що використання апріорно заданих коефіцієнтів позитивно впливає на швидкість навчання, причому найбільшу швидкість навчання має мережа за варіантом три. Крім того, видно, що

Таблиця 1

Дихотомічні ознаки захворювань

№ $T_{io}(z)$	Розраховані моменти сил ділянок окорухових м'язів	Результат операції											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	M_{MRS1}			+	+	+	+			+	+	+	+
2	M_{MRS2}			+	+	+	+			+	+	+	+
3	M_{MRS3}			+	+	+	+			+	+	+	+
4	M_{MRS4}			+	+	+	+			+	+	+	+
5	M_{MRS5}			+	+	+	+			+	+	+	+
6	M_{MRI1}			+	+	+	+			+	+	+	+
7	M_{MRI2}			+	+	+	+			+	+	+	+
8	M_{MRI3}			+	+	+	+			+	+	+	+
9	M_{MRI4}			+	+	+	+			+	+	+	+
10	M_{MRI5}			+	+	+	+			+	+	+	+
11	M_{MRL1}	+	+			+	+	+	+			+	+
12	M_{MRL2}	+	+			+	+	+	+			+	+
13	M_{MRL3}	+	+			+	+	+	+			+	+
14	M_{MRL4}	+	+			+	+	+	+			+	+
15	M_{MRL5}	+	+			+	+	+	+			+	+
16	M_{MRM1}	+	+			+	+	+	+			+	+
17	M_{MRM2}	+	+			+	+	+	+			+	+
18	M_{MRM3}	+	+			+	+	+	+			+	+
19	M_{MRM4}	+	+			+	+	+	+			+	+
20	M_{MRM5}	+	+			+	+	+	+			+	+
21	M_{MOS1}	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
22	M_{MOS2}	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
23	M_{MOS3}	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
24	M_{MOS4}	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
25	M_{MOS5}	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
26	M_{MOI1}	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
27	M_{MOI2}	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
28	M_{MOI3}	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
29	M_{MOI4}	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
30	M_{MOI5}	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

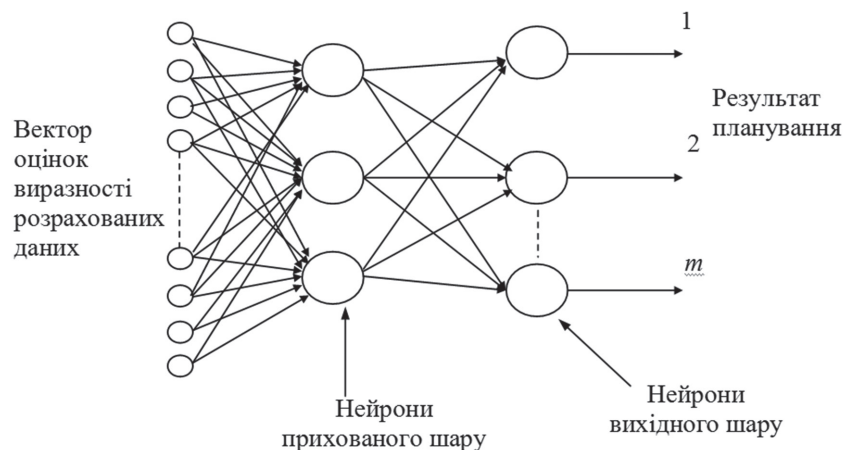


Рис. 1. Структура побудованої нейронної мережі

стандартна мережа схильна до перенавчання, коли число циклів навчання наближається до 70. У інших варіантах мереж ефект перенавчання при зазначеному числі циклів не відзначений.

Для тестування генерувалася вибірка, що містить 110 прикладів. Повна помилка мережі обчислювалася як сума середніх квадратичних помилок мережі за кожним пред'явленим прикладом, віднесено до числа пред'явлених прикладів. На діаграмі рис. 3 видно, що мережі під номером два і три помітно перевершують інші варіанти за точністю передопераційного планування.

Можна також відзначити, що нейронна мережа, побудована за даним методом є логічно прозорою, тобто результати її роботи легко інтерпретуються, наприклад у вигляді дерева вирішальних правил “Якщо – То”.

Випробування комп'ютерної системи передопераційного планування хірургічної корекції косоокості на основі нейронної мережі у медичному закладі показали її високу ефективність, що підтверджено актом випробувань та актом впровадження в навчальний процес. Для експериментів з

використанням знань для синтезу архітектури нейронної мережі прямого поширення розроблено методи, що реалізують процес медичного планування захворювань очорухового апарату в офтальмології. Порівняльний аналіз трьох нейронних мереж показав, що нейронна мережа, побудована і навчена з використанням значень ймовірностей результатів хірургічного втручання, навчається швидше і не схильна до перенавчання. Зважаючи на матеріал представлений вище, можна синтезувати структурну схему комп'ютерної системи передопераційного планування хірургічної корекції патології очорухового апарату людини (рис. 4).

Висновки

Побудовано та проаналізовано математичні моделі трьох нейронних мереж. Порівняльний аналіз запропонованих нейронних мереж показав, що нейронна мережа, побудована і навчена з використанням значень ймовірностей результатів хірургічного втручання, навчається швидше і не схильна до перенавчання. Тобто для адекватного передопераційного планування буде використовуватись

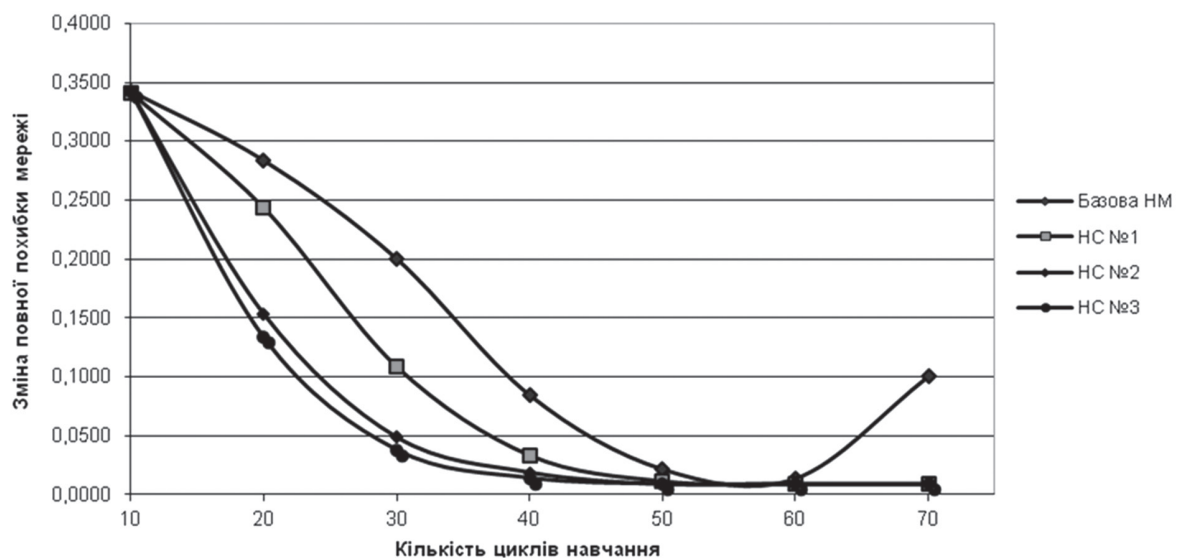


Рис. 2. Динаміка навчання нейронних мереж

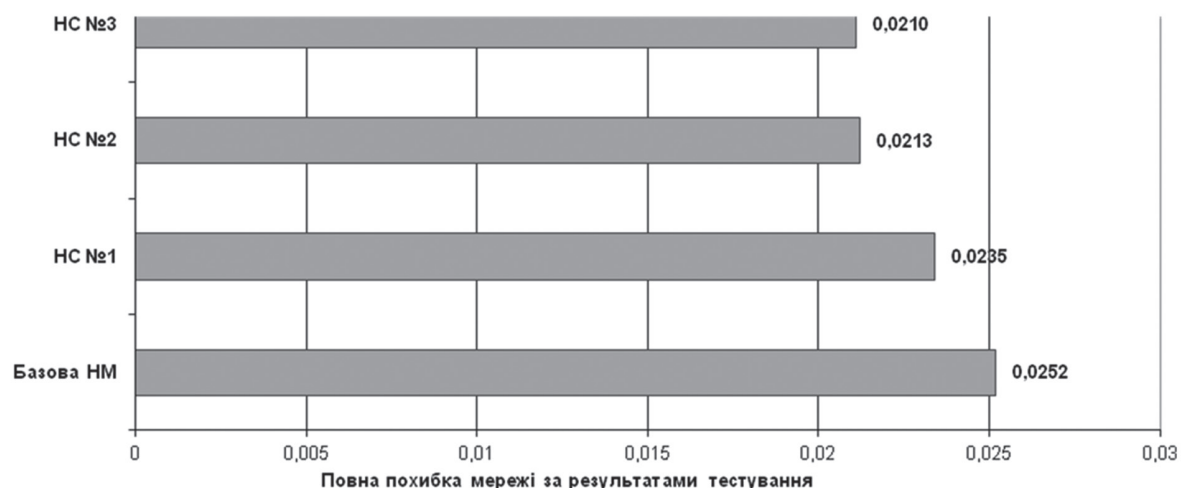


Рис. 3. Порівняння повної похибки мереж за результатами тестування

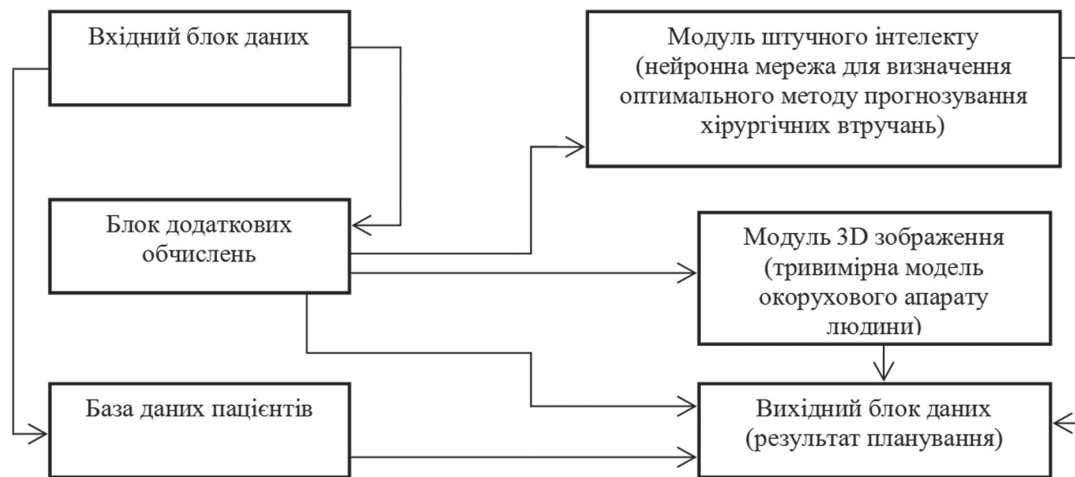


Рис. 4. Синтезована структурна схема комп'ютерної системи передопераційного планування хірургічної корекції патології очорухового апарату людини

нейронна мережа під номером три. Випробування комп'ютерної системи передопераційного планування хірургічної корекції косоокості на основі нейронної мережі у медичному закладі показали її високу ефективність, що підтверджено актом випробувань.

Синтезовано структурну схему комп'ютерної системи передопераційного планування хірургічної корекції патології очорухового апарату людини, яка складається з наступних блоків: модуль 3D зображення (тривимірна модель очорухового апарату людини), модуль штучного інтелекту (нейронна мережа для визначення оптимального методу прогнозування хірургічних втручань), блок додаткових обчислень, база даних пацієнтів, блоки вхідних та вихідних даних.

Список літератури: 1. Байдык Т. Н. Нейронные сети и задачи искусственного интеллекта / Т. Н. Байдык — К.: Наукова думка, 2001. — 263 с. 2. Ємченко В. І. Про дію очорухових м'язів на людське око при патології очорухового апарату / В. І. Ємченко, Н. Г. Кирилах // Офтальмол. журн. — 2008. — №1. — С.19-23. 3. Кирилах Н. Г. Математична модель дії очорухових м'язів при обертанні ока / Н. Г. Кирилах // Вісник запорізького державного університету. — 2008. — №1. — С. 83–91. 4. Кремер Н. Ш. Эконометрика : Учебник для вузов / Н. Ш. Кремер, Б. А. Путко; под ред. проф. Н. Ш. Кремера. — М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2002. — 311 с. 5. Кухаренко Д. В. Етапи створення комп'ютерної системи передопераційного планування хірургічної корекції косоокості. / Д. В. Кухаренко, О. Г. Аврунін // Східно-європейський журнал передових технологій. — Харків, 2013. — № 6/9 (66). — С. 26–31. 6. Кухаренко Д. В. Медико-технічні вимоги та практичне застосування комп'ютерної системи передопераційного планування / Д. В. Кухаренко, О. Г. Аврунін, Т. В. Мунтян // Науковий журнал «Нові технології». Вісник Кременчуцького університету економіки, інформаційних технологій і управління. — Кременчук: КУЕІТУ, — №3–4 (41–42), 2013. — С. 70–75. 7. Патент на корисну модель № 37269, МПК А61В 3/00. Спосіб розрахунку координат об'єктів на поверхні очного яблука. Д. В. Кухаренко, В. О. Моспан, В. І. Ємченко; заявник та патентовласник Кухаренко Дмитро Володимирович, № u200806807, заяв. 19.05.2008, опубл. 25.11.2008. — Бюл. №22. 8. Патент на

корисну модель № 80907, МПК А61В 3/00. Спосіб розрахунку моментів сил очорухових м'язів на поверхні моделі очного яблука / Д. В. Кухаренко, В. І. Ємченко, Н. Г. Кирилах; заявник та патентовласник Кухаренко Дмитро Володимирович, № u201300461, заяв. 14.01.2013, опубл. 10.06.2013. — Бюл. №11. 9. Розенблатт Ф. Принципы нейродинамики. Перцептроны и теория механизмов мозга / Ф. Розенблатт. — М.: Мир, 1965. — 480 с. 10. Уоссермен Ф. Нейрокомпьютерная техника: Теория и практика / Ф. Уоссермен. — М.: Мир, 1992. — 423 с. 11. Эддоуз М. Методы принятия решений. Пер. с англ. / М. Эддоуз, Р. Стендсфилд; под ред. чл. кор. РАН И. И. Елисеевой. — М.: Аудит, ЮНИТИ, 1997. — 590 с.

Надійшло до редколегії 26.03.2015

УДК 004.94:617.758.1

Построение модели нейронной сети компьютерной системы для прогнозирования результата оперативных вмешательств на глазодвигательных мышцах / Д. В. Кухаренко // Бионика интеллекта: научн.-техн. журнал. — 2015. — № 1 (84). — С. 75–79.

Принятие решений в медицинской практике всегда предполагает некую степень неопределенности. Неопределенность — наиболее сложная ситуация для принятия решения. То есть применение систем предоперационного планирования на основе нейронной сети может значительно ускорить или упростить работу врача, помочь ему избежать ошибок. Испытания предложенной нейронной сети в медицинской практике показали ее высокую эффективность, что подтверждено актом внедрения.

Табл. 1. Ил. 4. Библиогр. 11 назв.

UDC 004.94: 617.758.1

Building a model of neural network computer system for predicting the outcome of surgical interventions on the eye muscles / D.V.Kuharenko // Bionics of Intelligence: Sci. Mag. — 2015. — №1 (84). — P. 75–79.

Decision-making in medical practice always involves some measure of uncertainty. Uncertainty — the most difficult situation for a decision. That is, the use of preoperative planning based on neural network can greatly speed up or simplify the doctor to help him escape his own mistakes. The tests proposed neural network in medical practice have shown high efficiency, which is confirmed by the act of testing.

Tab. 1. Fig. 4. Ref.: 11 items.