Budownictwo i Architektura 13(1) (2014) 339-347

Możliwości zastosowania sieci neuronowych do oceny bezpieczeństwa ekologicznego dróg na Ukrainie

Vitalii Naumov[1], Natalia Vnukova[2], Ganna Zhelnovach[3]

[1]Wydział Systemów Transportowych,
Charkowski Narodowy Uniwersytet Samochodowo-Drogowy
[2]Katedra Ekologii, Wydział Budownictwa Dróg,
Charkowski Narodowy Uniwersytet Samochodowo-Drogowy
[3]Wydział Budownictwa Dróg, Charkowski Narodowy Uniwersytet Samochodowo-Drogowy

Streszczenie. Przeprowadzono analizę problemów oraz możliwości zapewnienia bezpieczeństwa ekologicznego dróg na Ukrainie. Zaproponowano model matematyczny na podstawie sieci neuronowej, który w warunkach niepełnej i rozmytej informacji pozwala oszacować ilościowo jakość przestrzeni w otoczeniu dróg. Zaproponowane podejście pozwala określić poziom bezpieczeństwa ekologicznego dróg samochodowych, wskazać celowość rozmieszczenia stanowisk monitoringu ekologicznego, a również umożliwia opracowanie wykazu działań co do ochrony środowiska dla odcinków dróg.

Słowa kluczowe: sieci neuronowe, bezpieczeństwo ekologiczne, drogi samochodowe, system monitoringu

1. Wprowadzenie

Zapewnienie wysokiej jakości środowiska naturalnego jest jednym z najbardziej znaczących współczesnych problemów. Głównym kryterium, które pozwala określić stopień oddziaływania obiektów technicznych na ekosystemy jest poziom bezpieczeństwa ekologicznego. Może być on opisany ilościowo, przedstawiając odchylenia pomiędzy faktycznymi wartościami ekologicznych wskaźników wpływu obiektu na środowisko naturalne a wartościami normatywnymi.

Do technicznych obiektów i branż oddziaływujących na środowisko naturalne należą: przedsiębiorstwa przemysłowe, systemy energetyczne, systemy transportowe, kombinaty rolne, urządzenia wojskowe itp. Wśród wymienionych szczególne znaczenie mają systemy transportowe, a przede wszystkim drogi samochodowe będące ich elementem. Ze względu na ich długość i przechodzenie przez wiele systemów naturalnych; są w stanie zakłócić funkcjonowanie ekosystemów o różnych skalach.

W warunkach stale zwiększającego się udziału transportu samochodowego w przewozach ładunków oddziaływania dróg, jako elementu systemu transportowego, nie są zbadane dostatecznie. To dla Ukrainy i innych krajów postradzieckich jest poważnym problemem. Nie możemy bowiem w pełni korzystać ze światowych doświadczeń w tej dziedzinie. Wynika to z odmiennych uwarunkowań związanych

z budową i eksploatacją dróg oraz różniących się przepisów prawnych dotyczących ochrony środowiska czy systemów monitoringu.

W postradzieckiej nauce problemom zapewniania bezpieczeństwa ekologicznego dróg samochodowych poświęcili swoje prace między innymi: D. Kavtaradze, P. Kanilo, A. Diakova, V. Podolski, E. Pavlova [1-5]. Jednak w dotąd przeprowadzonych badaniach brakuje opisu związku pomiędzy charakterystykami dróg a charakterystykami ruchu pojazdów. Transport drogowy jest wskazywany jako główne źródło destrukcyjnego wpływu na środowisko, jednak bezpośrednim negatywnym oddziaływaniom drogi samochodowej poświęcono zbyt mało uwagi. Oprócz tego, nie udało się zbadać łańcuchów interakcji w relacjach „samochód – droga – środowisko naturalne" w odniesieniu do całej sieci dróg. Oczywiście, przyczyną tego może być niewystarczająca ilość zgromadzonych w badaniach danych.

Problem zapewnienia bezpieczeństwa ekologicznego dróg jest dla Ukrainy bardzo ważny. Ukraina charakteryzuje się wysokim potencjałem ruchu tranzytowego. Prognozowany perspektywicznie wzrost tego ruchu znacznie zwiększy negatywny wpływ dróg na ich otoczenie, a to z kolei zagrozi środowisku naturalnemu.

2. Ocena aktualnych problemów w zapewnieniu bezpieczeństwa ekologicznego dróg na Ukrainie

Ukraina posiada dość rozwiniętą sieć dróg samochodowych. Pod względem ich długości Ukraina zajmuje 30 miejsce wśród 216 państw świata; według danych na 1 stycznia 2014 roku łączna długość dróg wyniosła 169 945 km [6]. Szacuje się, że negatywne oddziaływanie dróg na środowisko obejmuje obszar stanowiący jedną trzecią terytorium państwa. To wskazuje jak duży może być wpływ dróg na stan ekologiczny kraju i wymaga przeprowadzenia kompleksowej oceny tego wpływu.

Zadania ochrony środowiska w sektorze drogowym realizowane są zgodnie z programem przyjętym przez UKRAVTODOR (państwową agencji ds. dróg). na lata 2012-2015. Celem programu jest integracja ukraińskiej sieci dróg z europejską siecią transportową [7]. Określa on dla dróg publicznych oraz infrastruktury drogowej główne kierunki ochrony środowiska. Pomimo zapisania konkretnych działań w ochronie środowiska z uzasadnieniem warunków ich realizacji oraz określeniem oczekiwanych rezultatów, program ten nie jest zbyt skuteczny. Spowodowane jest to brakiem kompleksowej informacji o poziomach bezpieczeństwa ekologicznego obszarów, na które oddziaływają ukraińskie drogi.

Niestety państwowy monitoring ekologiczny UKRAVTODOR nie uwzględnia monitoringu ekologicznego dróg. Program zawiera wykaz działań w zakresie inżynierskiego i technicznego wsparcia zadań obejmujących eksploatację i utrzymanie dróg. Zgodnie z postanowieniem UKRAVTODOR-u „W sprawie zatwierdzenia Regulaminu tymczasowego dotyczącego Systemu monitoringu w budownictwie, remoncie i utrzymaniu dróg publicznych" (z dnia 13 kwietnia 2007 roku, №165) wprowadzenie systemu monitoringu zostało zaplanowane w Regionie Czernihowskim. Tego zamierzenia nie udało się jednak zrealizować z powodu braku funduszy. Tak więc system monitoringu ekologicznego dróg na Ukrainie nie działa, pomimo opracowanych i zatwierdzonych przepisów. Dlatego nadal brakuje informacji o bezpieczeństwie ekologicznym dróg.

Zmianę sytuacji może zapewnić współpraca międzynarodowa. W branży drogowej Ukraina dotąd podpisała 7. międzynarodowych konwencji, umów i protokołów, 2. umowy międzyrządowe, 3. umowy w ramach Wspólnoty Niepodległych Państw. Ponadto zawarto 3. umowy między agencjami [8]. Zapisy tych dokumentów pokazują, że na poziomie współpracy międzynarodowej najważniejszym zagadnieniem jest emisja gazów cieplarnianych (CO_2). Wielkość emisji z pojazdów pokonujących terytorium Ukrainy istotnie przyczynia się do globalnych zmian klimatu. Pozostałe negatywne oddziaływania ukraińskiego systemu transportu jednak nie mają transgranicznego wymiaru, nie mogą więc powodować zanieczyszczeń o szerszym charakterze. Ponieważ maksymalny wpływ eksploatowanej drogi sięga do 3 km po obu jej stronach, można stwierdzać, że sieć drogowa Ukrainy nie powoduje pogorszenia stanu środowiska krajów sąsiednich. Aby nie dopuścić do zanieczyszczenia środowiska naturalnego przez transport samochodowy, w tym pochodzący z Ukrainy, kraje Unii Europejskiej ograniczają wjazd na swoje terytorium pojazdów, które nie odpowiadają wymogom EURO5 lub nie spełniają przepisów regulujących przewozy ładunków niebezpiecznych.

3. Opracowanie podejścia pozwalającego uzasadnić celowość rozmieszczenia stanowisk ekologicznego monitoringu dróg

Podstawą zapewnienia bezpieczeństwa ekologicznego dróg jest system monitoringu ekologicznego. Wiadomo, że kręgosłupem tego systemu muszą być stacje pomiarowe, zlokalizowane na sieci drogowej. W „Regulaminie tymczasowym dotyczącym systemu monitoringu w budownictwie, remoncie i utrzymaniu dróg publicznych" określono, że takie stanowiska mają funkcjonować na odcinkach dróg niebezpiecznych lub potencjalnie niebezpiecznych dla środowiska. Jednak brakuje kryteriów wyboru takich miejsc.

Metoda służąca wyznaczeniu stanowisk ekologicznego monitoringu dróg, opracowana przez autorów referatu, opiera się na ocenie bezpieczeństwa środowiskowego dokonanej za pomocą modelowania matematycznego na podstawie badań biomonitoringowych. Biorąc pod uwagę złożoność badań, nieliniowość parametrów wejściowych i faktyczną niemożliwość uwzględnienia wszystkich związków w relacji „samochód – droga – środowisko naturalne", zdecydowano się zastosować podejście polegające na syntezowaniu sieci neuronowej. Pozwala ono, w warunkach niepełnej informacji, określić jakość przestrzeni w otoczeniu drogi.

W trakcie syntezy probabilistycznej sieci neuronowej do oceny jakości przestrzeni w otoczeniu drogi jako wejściowe wykorzystano następujące wskaźniki: średnią prędkość pojazdów (C, km/godz.), równość podłużną (P, cm/km), natężenie ruchu (I, pojazdów/godz.), okres eksploatacji między naprawami (M, lata), pochylenie podłużne ($П$, ‰). Równość podłużną to cecha eksploatacyjna drogi określająca zdolność nawierzchni jezdni do nie wzbudzania wstrząsów i drgań poruszającego się pojazdu. Takie istotne parametry, jak odległość zabudowy od krawędzi jezdni oraz brak lub obecność chodników mają być też uwzględniane przy badaniach dróg na terenach z zabudową mieszkaniową.

Parametrem wejściowym dla sieci jest numer kategorii (wzorca), do której należy uzyskany zestaw wskaźników wejściowych. Warstwa dodatkowa sieci neuronów mieści jeden element dla każdej kategorii z zestawu danych dla uczenia sieci.

Wszystkie elementy warstwy dodatkowej połączone są tylko z elementami warstwy wzorców, które należą do odpowiedniej kategorii.

Aktywność O_j dla *j*-tego elementu warstwy wzorców określa się w następujący sposób:

$$O_j = \exp\left[-\frac{1}{\sigma^2}\cdot\sum_i (w_{ij} - x_i)^2\right] \tag{1}$$

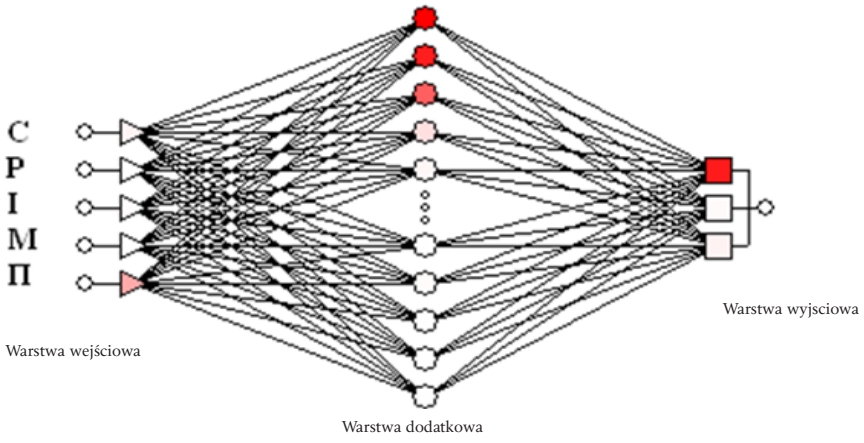
gdzie w_{ij} – wartości wagowe współczynników; σ – parametr określający szerokość funkcji; x_i – nieznany wzorzec wejściowy.

Wartości wagowe połączeń między elementami warstwy wzorców i elementami warstwy dodatkowej przyjmuje się równe 1. Element warstwy dodatkowej określa się przez wyjściowe wartości elementów warstwy wzorców. To pozwala oszacować wartości funkcji gęstości rozkładu dla zestawu egzemplarzy odpowiedniej kategorii. Wyjściowe elementy reprezentują dyskryminatory wielkości progowej, które wskazują na element warstwy wyjściowej z maksymalną wartością aktywacji, tj. wskazują na jedną z trzech kategorii.

W kontekście tego badania nie jest potrzebna dyskretna klasyfikacja, lecz oszacowanie wartości wyjściowej warstwy dodatkowej, które pozwala z kolei oszacować gęstość rozkładu prawdopodobieństwa dla różnych kategorii wyjściowych. W ten sposób pojawia się możliwość zbadania dynamiki zmiany przynależności do jednej z trzech kategorii. Po opracowaniu pewnej skali klasyfikacyjnej można korzystając ze statystyki Bayesa uzyskać ilościową ocenę zanieczyszczeń, które są skutkiem wpływu transportu drogowego na środowisko naturalne.

Do syntezy i badania sieci neuronowej zastosowano pakiet oprogramowania Statistica 7.0 Neural Networks. Jako kryterium funkcjonalne przyjęto minimum błędu sieci neuronowej pod warunkiem, że nie są stosowane procedury uczenia.

Proponowana sieć zawiera 5 neuronów w warstwie wejściowej, 51 neuronów w warstwie do obliczenia gęstości rozkładu i 3 neurony wyjściowe (rys. 1).



Rys. 1. Architektura sieci neuronowej do oceny jakości przestrzeni otoczenia drogi.

Optymalizacja parametrów opiera się na podejściu liniowym i metodzie symulowanego wyżarzania w odniesieniu do rozkładu prawdopodobieństwa Gibbsa:

$$P(\overline{x}^* \to \overline{x}_{i+1} \,|\, \overline{x}_i) = \begin{cases} 1,\ F(\overline{x}^*) - F(\overline{x}_i) < 0, \\ \exp(-\dfrac{F(\overline{x}^*) - F(\overline{x}_i)}{Q_i}),\ F(\overline{x}^*) - F(\overline{x}_i) \geq 0, \end{cases}$$

(2)

gdzie $Q_i > 0$ – elementy dowolnie zmniejszającej się do zera sekwencji; $F(x)$ – funkcja gęstości rozkładu prawdopodobieństwa.

Wartość $\overline{x}_{i+1}$ uzyskuje się na podstawie $\overline{x}_i$ w następujący sposób: do wartości $\overline{x}_i$ stosuje się dowolny operator, który modyfikuje je losowo; w wyniku dostajemy wartość $\overline{x}^*$, dla której prawdopodobieństwo tego, że ona stanowi $\overline{x}_{i+1}$, wynosi $P(\overline{x}^* \to \overline{x}_{i+1} \,|\, \overline{x}_i)$ W wyniku uczenia probabilistycznej sieci neuronowej w celu oceny jakości przestrzeni w otoczeniu drogi uzyskano następujące wartości średnich kwadratowych błędu uczenia w jednostkach wyjściowych: blok uczenia – 0,16%, blok kontroli – 0,17%, blok testowy – 0,16%. Poziom dokładności klasyfikacji za pomocą sieci sięga 96,1%.

W celu opracowania systemu wsparcia decyzji za pomocą funkcji pakietu Statistica Neural Networks został wygenerowany kod sieci neuronowej, z którego można korzystać w innych środowiskach programowych. W wyniku tego otrzymano kod sieci neuronowej w języku programowania C++.

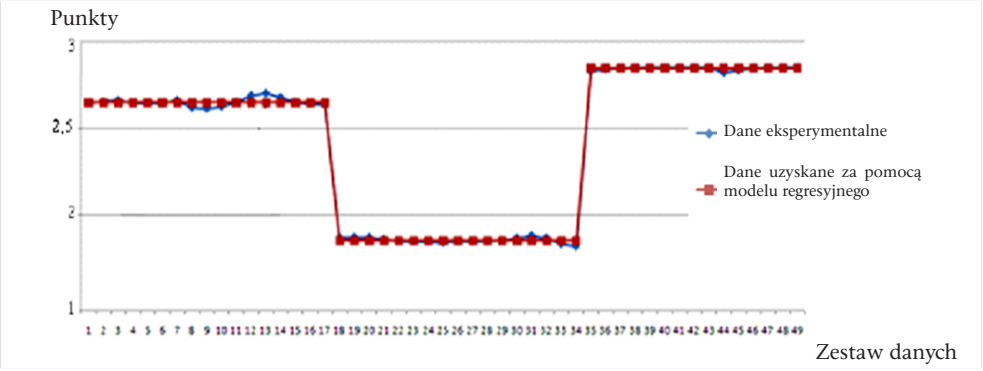
Z powodu niepełnej ilości danych na początkowym etapie badania, wykorzystanie jedynie modelu sieci neuronowej do analizy jakości przestrzeni otoczenia dróg jest niewystarczające. Dlatego przy opracowaniu wyników modelowania za pomocą sieci neuronowej do odpowiednich ocen jakości przestrzeni została przeprowadzona analiza regresyjna. Zmiennymi niezależnymi są dane wejściowe sieci (Y_1, Y_2, Y_3), które wskazują na gęstości rozkładu zestawu egzemplarzy odpowiedniej kategorii, a zmienną zależną jest ocena jakości w punktach (P).

Opracowanie danych przeprowadzono w pakiecie oprogramowania Statistica 7.0 Neural Network. W wyniku uzyskano nieliniowe równanie regresji, które charakteryzuje się bardzo wysoką wartością współczynnika korelacji (0,998) i współczynnika determinacji (0,997) (rys. 2):

$$P = -3,608 + 13,021 \cdot Y_1 - 6,767 \cdot Y_1^2 - 0,848 \cdot Y_2 + 6,267 \cdot Y_2^2 + 6,452 \cdot Y_3^2$$

(3)

Praktyczne zastosowanie proponowanego podejścia pozwala, z braku informacji, przeprowadzenie szeregu etapów zmierzających do uzyskania nowych danych i dostosowania już opracowanej probabilistycznej sieci neuronowej zgodnie z szeregiem zaleceń opisanych w [9-11].



Rys. 2. Porównanie danych z wynikami uzyskanymi za pomocą równania regresji

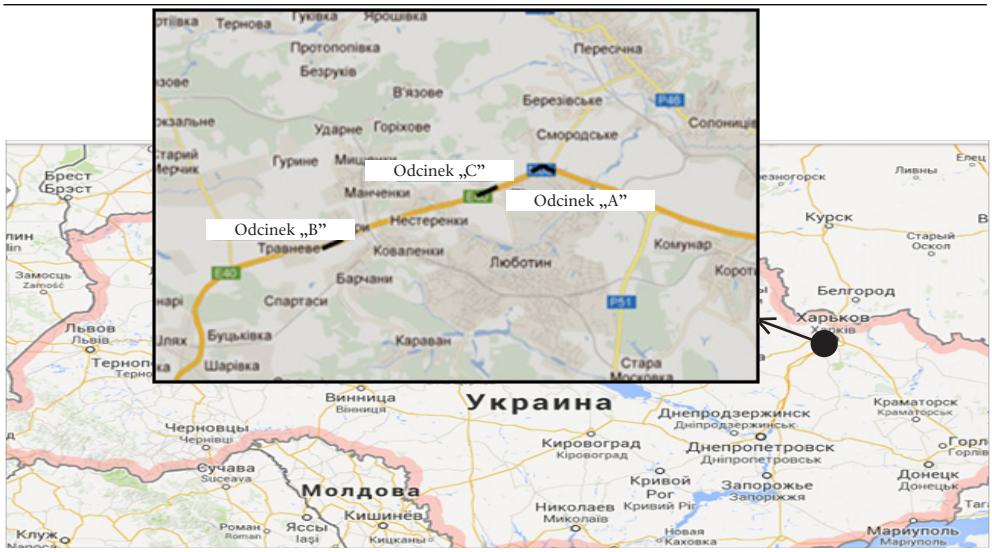
Uzyskane wyniki pozwalają na stwierdzenie, że probabilistyczne sieci neuronowe można docelowo wykorzystać do oceny jakości przestrzeni w otoczeniu dróg. Świadczy o tum wysoka jakość wyników symulacji na testowych zestawach danych (dokładność – 96,1%) oraz na próbach, które wcześniej nie były badane (dokładność – 83,3%). Jednak praktyczne wykorzystanie proponowanej probabilistycznej sieci neuronowej wymaga znacznego uzupełnienia danych statystycznych.

Priorytety rozmieszczenia stanowisk monitoringowych na odcinkach dróg proponujemy ustalać odpowiednio do rekomendacji przedstawionych w tabeli 1.

Tabela 1. Propozycje celowości rozmieszczenia stanowisk monitoringu ekologicznego dróg.

Punkty	Poziom bezpieczeństwa ekologicznego	Potrzeba rozmieszczenia stanowisk monitoringu ekologicznego
3,0 – 4,0	bezpieczny	nie ma potrzeby
2,0 – 2,9	potencjalnie niebezpieczny	jest rekomendowane, ale nie konieczne
1,0 – 1,9	niebezpieczny	konieczne

Badania zostały przeprowadzone w obwodzie charkowskim, w regionie przemysłowym i rolniczym. Do oceny jakości przestrzeni w sąsiedztwie drogi (poziomu bezpieczeństwa ekologicznego) były wybrane jednokilometrowe reprezentatywne 3 odcinki na drodze M-03 Kijów – Charków – Dołżański. Wybór odcinków drogi był uwarunkowany ich typowością dla regionu oraz parametrami geometrycznymi. Droga M-03 jest jedną z najważniejszych tras tranzytowych Ukrainy. Charakteryzuje się znacznym obciążeniem ruchu, wiodącym w kierunku międzynarodowej drogi E-40. (rys. 3).



Rys. 3. Lokalizacja odcinków drogi samochodowej, dla których zostały przeprowadzone pomiary.

Wyniki oceny jakości przestrzeni w otoczeniu trasy i poziomu bezpieczeństwa ekologicznego badanych odcinków drogi, uzyskane na podstawie badań przeprowadzonych w ciągu 3 lat (2008 – 2010 r.), przedstawione są w tabeli 2.

Tabela 2. Wyniki oceny jakości przestrzeni w otoczeniu badanych odcinków drogi M-03.

Odcinek drogi	A	B	C
Punkty	2,65 punkty	1,85 punkty	2,85 punkty
Jakość przestrzeni przydrożnej	średnia	niska	średnia
Poziom bezpieczeństwa ekologicznego	potencjalnie niebezpieczny	niebezpieczny	potencjalnie niebezpieczny

Interpretując uzyskane wyniki, możemy stwierdzać, że na odcinku B drogi M-03 rozmieszczenie stanowiska monitoringowego jest konieczne, a na odcinkach A i C – rekomendowane.

4. Wnioski

Przeprowadzona analiza problemów oraz możliwości zapewnienia bezpieczeństwa ekologicznego dróg na Ukrainie, pozwala stwierdzać, że sieć dróg samochodowych państwa ma znaczny wpływ na środowisko naturalne. Niestety, w obecnej sytuacji kraju nie uda się Ukrainie dołączyć do praktyki europejskich mechanizmów wspierających właściwą realizację działań w zakresie ochrony środowiska. Przyczyną tego może być brak ryzyka rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń transgranicznych, które byłyby negatywnym wynikiem funkcjonowania ukraińskiej sieci drogowej.

Podstawowym zadaniem w podnoszeniu poziomu bezpieczeństwa ekologicznego jest ustalenie jakości środowiska jako skutku oddziaływania całego okresu eksploatacyjnego obiektu. Źródłem takiej informacji może być system monitoringu ekologicznego. Zaproponowany przez autorów model matematyczny w wykorzystaniem sieci neuronowej w warunkach niepełnej i rozmytej informacji pozwala

oszacować ilościowo jakość przestrzeni w otoczeniu dróg. Opracowana probabilistyczna sieć neuronowa spełnia funkcję doradczą i ekspercką, wykorzystując wyniki biomonitoringowych badań jako kryterium oceny. Opracowany model pozwala określić poziom bezpieczeństwa ekologicznego dróg samochodowych, wskazać celowość rozmieszczenia stanowisk monitoringu ekologicznego, jak również umożliwia opracowanie wykazu działań z zakresu ochrony środowiska dla odcinków dróg, które stwarzają zagrożenia bądź są potencjalnie niebezpieczne dla środowiska naturalnego.

Literatura

[1] Кавтарадзе Д.Н. Автомобильные дороги в экологических системах / Д.Н. Кавтарадзе, Л.Ф. Николаева, Е.Б. Поршнева, Н.Б. Фролова. – М.: ЧеРо, 1999. – 240 с.

[2] Экологическая безопасность транспортный потоков / Под ред. А.Б. Дьякова. – М.: Транспорт, 1998. – 178 с.

[3] Автотранспортное загрязнение придорожных территорий / В.П. Подольский, В.Г Артюхов, В.С. Турбин, А.Н. Канищев. – Воронеж: Изд-во Воронежского гос. ун-та, 1999. – 261 с.

[4] Павлова Е.И. Экология транспорта. – М.: Транспорт, 2000. – 248 с.

[5] Каніло П.М., Бей І.С., Ровенський О.І. Автомобіль та навколишнє середовище. – Х.: Прапор, 2000. – 304 с.

[6] Протяжність і характеристика автомобільних доріг загального користування України (станом на 01.01.2011). – К.: Укравтодор, 2013. – 7 с.

[7] Програма Укравтодору з охорони навколишнього природного середовища на період 2008-2011 роки. – К.: Укравтодор, 2008. – 32 с.

[8] Желновач Г.М. Аналіз втілення природоохоронних вимог при оцінці впливу автомобільної дороги на навколишнє середовище // Вестник ХНАДУ. – 2009. – Вып. 48. – С. 29–32.

[9] Transport at a crossroads / TERM 2008: indicators tracking transport and environment in the European Union. – Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2009. – 56 p.

[10] Decision № 1692/96/EC of the European Parliament and of the Council on Community guidelines for the development of the trans-European transport network. Official Journal L 228: http://ec.europa.eu/transport/wcm/infrastructure/grants/2008_06_20/2007_tent_t_guidlines_en.pdf.

[11] Richtlinien für die Anlage von Straßen / Arbeitsgruppe Erd- und Grundbau Arbeitsausschuss. – Ausgabe, 2005. – 56 s.

Neural networks applications for environmental safety assessment of roads in Ukraine

Vitalii Naumov[1], Natalia Vnukova[2], Ganna Zhelnovach[3]

[1]Wydział Systemów Transportowych,
Charkowski Narodowy Uniwersytet Samochodowo-Drogowy
[2]Katedra Ekologii, Wydział Budownictwa Dróg,
Charkowski Narodowy Uniwersytet Samochodowo-Drogowy
[3]Wydział Budownictwa Dróg, Charkowski Narodowy Uniwersytet Samochodowo-Drogowy

Summary. The analysis of problems and of approaches for ensuring the environmental safety of roads in Ukraine has been performed. The proposed mathematical model on the basis of neural networks allows numerical evaluation of quality of road area in the conditions of incomplete and fuzzy information. The proposed approach allows the determination of roads' environmental safety level, the indication of necessity for arrangement of environmental monitoring stations, and allows the development of a number of activities for environmental protection on the road sections as well.

Keywords: neural networks, environmental safety, roads, monitoring system.