

УДК 631.432:626.86:



В.Й. Пастушенко, С.К. Матус, А.М. Стеценко

Національний університет водного господарства
та природокористування, м. Рівне

vteren@gmail.com, matus_sv@ukr.net, s_anastasia@ukr.net

ІДЕНТИФІКАЦІЯ КОЕФІЦІЄНТА ВОЛОГОПРОВІДНОСТІ ГРУНТУ ЗА ДОПОМОГОЮ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ

Проведено розрахунок коефіцієнта вологопровідності ґрунту за експериментальними аналітичними формулами та за допомогою нейромереж різної архітектури, здійснено порівняльний аналіз розрахунків.

НЕЙРОННА МЕРЕЖА, КОЕФІЦІЄНТ ВОЛОГОПРОВІДНОСТІ ГРУНТУ, ВОЛОГІСТЬ, ВСМОК-
ТУЮЧИЙ ТИСК

Вступ

При застосуванні диференційного рівняння вологопереносу виникає необхідність визначення коефіцієнтів і функцій, які є параметрами цього рівняння та описують фізичні процеси переносу вологи [1]. До таких функцій відносимо функцію водоутримання або основну гідрофізичну характеристику (ОГХ) – залежність всмоктуючого тиску ґрунту від його вологості $\psi(W)$ – і функцію вологопровідності ненасичених ґрунтів. Говорячи про функцію вологопровідності, розрізняють характеристику вологопровідності, що пов'язує коефіцієнт вологопровідності і потенціал ґрунтової вологи $k(\psi)$ та характеристику, яка пов'язує коефіцієнт вологопровідності ґрунту і його вологість $k(W)$ [2].

1. Аналіз досліджень і публікацій

Здатність ґрунту проводити воду є важливим показником, необхідним для різних меліоративних розрахунків. Вивченням кількісних закономірностей переміщення вологи в ґрунті займалися Алпат'єв А.М., Воронін А.Д., Глобус А.М., Муромцев М.О., Роде А.А., Судніцин І.І. та інші. Інформація про вологопровідність може бути використана для математичного (кількісного) аналізу різних випадків переміщення ґрунтової вологи, що відбувається в природних умовах. До таких випадків переміщення слід віднести фільтрацію води через ґрунт, надходження вологи від рівня ґрунтових вод до поверхні, поглинання вологи ґрунтом, надходження ґрунтової вологи до коріння рослин.

Універсальною функцією, що відображає вплив усіх факторів, які можуть впливати на енергетичний стан води в ґрунті, є потенціал вологи. Як відомо, вода переміщується завжди від більшого потенціалу до меншого. Діючою силою при цьому є градієнт вільної енергії або потенціалу ґрунтової вологи, що відображає сили, які викликають ізотермічний потік вологи. В ізотермічних умовах складовими потенціалу вологи є: капілярний тиск, осмотичні і гравітаційні сили. Внаслідок цього,

гідралічна провідність ненасичених вологою ґрунтів (капілярна провідність k , м/добу) характеризується не єдиним значенням (як при насиченому вологоперенесенні), а функцією від всмоктуючого тиску $k = k(\psi)$ або від вологості ґрунту $k = k(W)$.

З точки зору вологопровідності ґрунтовий профіль ділиться на дві частини: знизу – область повного насичення, де рух вільної вологи відбувається під впливом сили тяжіння, згідно з законами фільтрації, а зверху – область з рухом вологи у ненасиченому ґрунті.

Найбільш розповсюдженими методами визначення $k(\psi)$ є експериментальні методи, які базуються на аналізі даних про рух вологи: методи стаціонарного і нестаціонарного потоків [3]. Реалізувати стаціонарний режим потоку не завжди легко з технічної точки зору, а крім того, такі дослідження вимагають значних затрат часу. Нестационарні методи потребують менших затрат часу експериментатора у порівнянні зі стаціонарними, але достовірність і точність отриманих даних залежить від того, наскільки умови дослідження відповідали цілому ряду теоретичних припущень.

Складна природа залежності ґрунту з водою у вигляді “вологість – потенціал – вологопровідність” найчастіше представляється у вигляді емпіричних формул та графіків. Запропоновано багато емпіричних апроксимаційних формул для функції вологопровідності, які з певною точністю відтворюють цю функцію на окремих інтервалах [3]. Найбільш відомими є формули Ван-Генухтена (1980), Муалема (1976), Гарднера, Уїнстона, К.П. Лудніна, С.Ф. Авер'янова, В.А. Бодрова, А.І. Будаговського.

Спеціальний аналіз цих формул і області їх використання показав, що для мінеральних і торфових ґрунтів використовуються наступні формули:

Формула Ван-Генухтена:

$$k(\psi) = \frac{k_f \cdot \left\{ 1 - (\alpha \cdot \psi)^{m \cdot n} \cdot \left[1 + (\alpha \cdot \psi)^n \right]^{-m} \right\}^2}{\left[1 + (\alpha \cdot \psi)^n \right]^{m \cdot l}}, \quad (1)$$

$$k(W) = k_f \cdot \sqrt{\frac{W - W_r}{W_s - W_r}} \cdot \left[1 - \left(1 - \left(\frac{W - W_r}{W_s - W_r} \right)^{1/n} \right) \right]^2, \quad (2)$$

де m, n, α – параметри апроксимації експериментальних даних ОГХ: $m = 1 - \frac{1}{n}$, $0 < m < 1$; n, α – два основних параметри апроксимації реальних даних ОГХ, які мають фізичний зміст, n – безрозмірна величина, що характеризує кут нахилу кривої ОГХ, її крутизну ($n = 1 \dots 4$); α – величина, яка обернена значенню тиску повітря і тому має розмірність $1/м$; k_f – коефіцієнт фільтрації (м/добу); ψ – капілярно-сорбційний потенціал (м); W – об’ємна вологість, яка відповідає даному потенціалу (%); W_r – мінімально можлива вологість (%); W_s – повна вологемність (%).

Для дерново-підзолистих ґрунтів: $k_f = 0,15 \frac{м}{добу}$.

Для торфових ґрунтів: $k_f = 0,35 \frac{м}{добу}$.

Формула Уїнстона:

$$k(\psi) = k_f \cdot \left(\frac{1}{\psi} \right)^m, \quad (3)$$

де ψ – всмоктуючий тиск (потенціал) ґрунту, k_f – коефіцієнт фільтрації; m – емпіричний коефіцієнт ($m = 2$ для глинистих та дерново-підзолистих ґрунтів, $m = 2,5$ для торфових ґрунтів, $m = 4$ для піску).

Наближені вирази для попередніх розрахунків коефіцієнта вологепровідності [4, 96-119 с.]:

$$K_B = 0,001 \cdot e^{10 \cdot \eta} \text{ – для піску і верхніх шарів торфу,} \quad (4)$$

$$K_B = 0,001 \cdot e^{7 \cdot \eta} \text{ – для підорного шару торфу,} \quad (5)$$

$$\eta = \frac{\theta - \theta_0}{\theta_{ПВ} - \theta_0} \text{ – коефіцієнт активної вологості.} \quad (6)$$

θ – об’ємна вологість (%), $\theta_{ПВ}$ – повна вологемність (%), θ_0 – мінімально можлива вологість (%).

Для піску і верхніх шарів торфу: $\theta_{ПВ} = 83,8\%$, $\theta_0 = 42\%$. Для підорного шару торфу: $\theta_{ПВ} = 81,5\%$, $\theta_0 = 51\%$.

Формула Авер’янова С.Ф.

$$k(\theta) = k_f \cdot \left(\frac{\theta - \theta_0}{\theta_{ПВ} - \theta_0} \right)^{3,5}, \quad (7)$$

де k_f – коефіцієнт фільтрації м/добу; θ – об’ємна вологість, %; $\theta_{ПВ}$ – повна вологемність, %; θ_0 – мінімально можлива вологість, %.

Результати розрахунку коефіцієнта вологепровідності для дерново-підзолистих та торфових ґрунтів за вищенаведеними формулами представлені у табл. 1 і 2. Найвищу точність розрахунків у порівнянні з експериментальними даними показала формула Ван-Генухтена, графіки розрахунків за якою при зміні вологості ґрунту в часі наведені на рис. 1 і 2.

Таблиця 1

Результати розрахунку коефіцієнта вологепровідності для дерново-підзолистих ґрунтів на двох вибірках даних

№	Формула	Середньо-квадратичне відхилення	
		вибірка 1	вибірка 2
1	Формула Ван-Генухтена	0,005150023	0,004769792
2	Формула Уїнстона	0,98984064	0,09873856
3	Формула Авер’янова	0,406349011	0,237242401

Таблиця 2

Результати розрахунку коефіцієнта вологепровідності для торфових ґрунтів на двох вибірках даних

№	Формула	Середньо-квадратичне відхилення	
		вибірка 1	вибірка 2
1	Формула Ван-Генухтена	0,02542259	0,02664897
2	Формула Уїнстона	0,046249477	0,0402224
3	Формула Лудніна, Гончарука, Пашкевича	0,072336063	0,089954
4	Формула Авер’янова	2,247555649	2,62011920

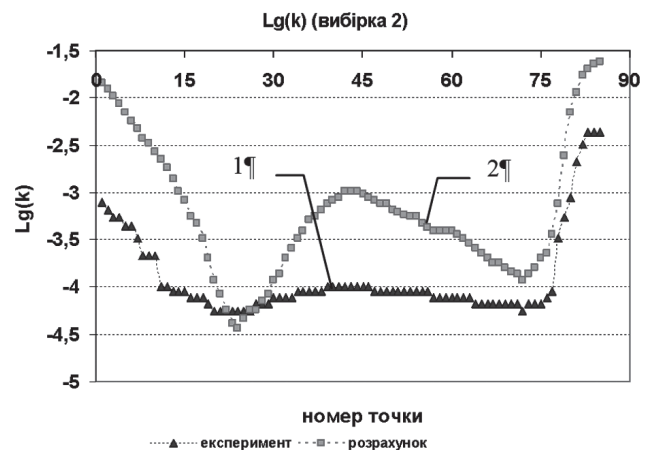


Рис. 1. Результати розрахунку коефіцієнта вологепровідності дерново-підзолистої ґрунту за формулою Ван-Генухтена на вибірці даних №2: 1 – експериментальні дані, 2 – результати розрахунків

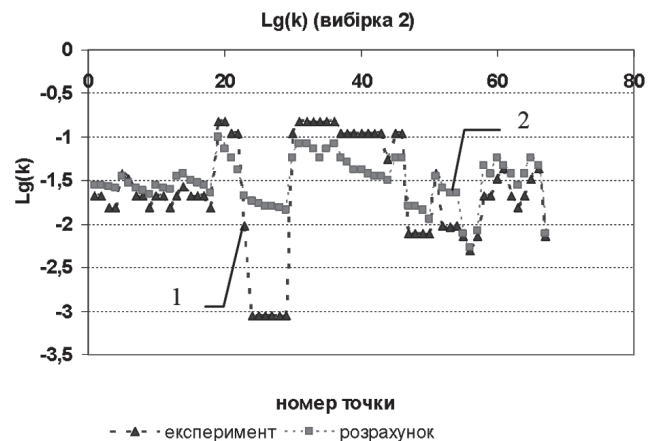


Рис. 2. Результати розрахунку коефіцієнта вологепровідності торфового ґрунту за формулою Ван-Генухтена на вибірці даних №2: 1 – експериментальні дані, 2 – результати розрахунків

2. Постановка завдання

У роботі поставлено задачу розробки альтернативної методики розрахунку коефіцієнта вологопровідності ґрунту на базі нейронних мереж, аналізі роботи нейромереж різної архітектури, порівняння їх роботи з результатами визначення коефіцієнта вологопровідності за аналітичними формулами та з експериментальними даними.

3. Розрахунок коефіцієнта вологопровідності ґрунту за допомогою нейронних мереж

Нейронні мережі (НМ) – це обчислювальні структури, які моделюють прості біологічні процеси, що асоціюються з процесами мозку людини. НМ представляють собою системи, здатні до адаптації та навчання шляхом аналізу позитивних і негативних впливів [5]. Основним джерелом знань про об’єкт моделювання (керований модуль меліоративної системи) є архів даних про зміну вхідних і вихідних параметрів. На базі архіву з врахуванням обраної архітектури нейронної мережі створювався набір тренувальних шаблонів $\{X_i, Y_i\}_j, j = 1, J$, кожен з яких включав вектор відомих вхідних сигналів X_{ij} і відповідний йому вихід мережі Y_{ij} . Навчання вибраного варіанта моделі зводиться до налаштування параметрів нейромережі (параметрів передаточних функцій нейронів, вагових коефіцієнтів) так, щоб вона найкраще запам’ятовувала набір тренувальних шаблонів. НМ служить своєрідним індикатором правильності вибору нами вхідних параметрів. При включенні до вхідного вектора параметра, який тісно пов’язаний з модельованим процесом, похибка розрахунку зменшиться.

На коефіцієнт вологопровідності ґрунту k впливають потенціал вологи (всмоктуючий тиск) ψ та вологість ґрунту W . Для розрахунку k створено нейронну мережу виду:

$$k = NN(W_1, W_2, \psi_1, \psi_2), \quad (8)$$

де вхідними параметрами є: W_1 і W_2 – значення вологості на середині двох суміжних шарів ґрунту; ψ_1 і ψ_2 – значення всмоктуючого тиску ґрунту у цих шарах; NN – перетворення, яке здійснюється нейронної мережею.

Побудова, навчання і тестування нейронних мереж проводилося у нейроемуляторі NeuroPro та редакторі Neural Network Toolbox (редактор для роботи з нейронними мережами) системи MatLab. При цьому використовувались мережі різної архітектури: багатошарова (NeuroPro), узагальнено-регресійна мережа, лінійна, мережа з радіальними базисними елементами з нульовою помилкою на навчальній вибірці даних, мережа з радіальними базисними елементами, “класична” багатошарова нейронна мережа з навчанням за методом зворотного поширення помилки, мережа Елмана, багатошарова нейронна мережа зі зворотним поширенням

помилки – каскадна НМ, перцептрон, ймовірнісна нейронна мережа (MatLab).

Результати розрахунку коефіцієнта вологопровідності для дерново-підзолистих та торфових ґрунтів представлені в табл. 3 і 4. При цьому вибірка даних №1 використовувалася як навчальна, а вибірка №2 – як тестувальна.

Таблиця 3

Результати розрахунків коефіцієнта вологопровідності для дерново-підзолистих ґрунтів на базі нейронних мереж (шари ґрунту 2,5-7,5 см)

Кількість точок при навчанні і тестуванні: 85

№	Нейромережа	Середньо-квадратичне відхилення	
		навчання	тестування
1	Багатошарова НМ (нейроемулятор NeuroPro): к-сть шарів – 3, к-сть нейронів в 1-му шарі – 10, передаточні функції – сигмоїдні	4,786E-06	6,8E-4
2	НМ з радіально- базисними елементами: к-сть нейронів у 1-му шарі – 2, передаточні ф-ції – радіально-базисні, к-сть нейронів у 2-му шарі – 1, передаточна ф-ція – лінійна	4,4679e-005	1,0676e-004
3	Узагальнено-регресійна мережа: к-сть нейронів у 1-му шарі – 85, передаточні ф-ції – радіально-базисні, к-сть нейронів у 2-му шарі – 1, передаточна ф-ція – лінійна	1,0183e-004	4,7783e-004
4	НМ з радіально- базисними елементами з нульовою помилкою на навчальній вибірці даних: к-сть нейронів у 1-му шарі – 85, передаточні ф-ції – радіально-базисні, к-сть нейронів у 2-му шарі – 1, передаточна ф-ція – лінійна	2,1367e-016	8,7885e-004
5	Перцептрон: к-сть нейронів – 1, одинична ф-ція активації з жорстким обмеженням	0,0021	9,4803e-004
6	Лінійна нейромережа: к-сть нейронів – 1, передаточна ф-ція – лінійна	0,0021	9,4803e-004
7	Багатошарова НМ зі зворотним поширенням помилки – каскадна НМ: к-сть шарів – 10, к-сть нейронів у шарах 1-9 – 10, к-сть нейронів у шарі 10 – 1, передаточні функції – сигмоїдні	0,5E-3	1,1E-3

8	Мережа Елмана: к-сть шарів – 10, к-сть нейронів у шарах 1-9 – 10, к-сть нейронів у шарі 10 – 1, передаточні функції – сигмоїдні	0,3123	0,0436
9	“Класична” багатошарова НМ з навчанням за методом зворотного поширення помилки: к-сть шарів – 10, к-сть нейронів у шарах 1-9 – 10, к-сть нейронів у шарі 10 – 1, передаточні функції – сигмоїдні	0,3091	0,1288
10	Ймовірнісна НМ: к-сть нейронів у 1-му шарі – 85, передаточні ф-ції – радіально-базисні, к-сть нейронів у 2-му шарі – 1, передаточна ф-ція – ф-ція конкуренції	0,9995	0,9996

Таблиця 4

Результати розрахунків коефіцієнта вологопровідності для торфових ґрунтів на базі нейронних мереж (шари ґрунту 12,5-30 см)

Кількість точок при навчанні – 67, при тестуванні – 62

№	Нейромережа_anastasia@ukr.net	Середньо-квадратичне відхилення	
		навчання	тестування
1	Багатошарова НМ (нейроемулятор NeuroPro): к-сть шарів – 3, к-сть нейронів в 1-му шарі – 10, передаточні функції – сигмоїдні	1,21073E-4	5,32E-3
2	Узагальнено-регресійна мережа: мережа: к-сть нейронів у 1-му шарі – 67, передаточні ф-ції – радіально-базисні, к-сть нейронів у 2-му шарі – 1, передаточна ф-ція – лінійна	0,0034	0,0057
3	Лінійна нейромережа: к-сть нейронів – 1, передаточна ф-ція – лінійна	0,0071	0,0075
4	НМ з радіально- базисними елементами з нульовою помилкою на навчальній вибірці даних: к-сть нейронів у 1-му шарі – 67, передаточні ф-ції – радіально-базисні, к-сть нейронів у 2-му шарі – 1, передаточна ф-ція – лінійна	2,6903e-015	0,0112
5	НМ з радіально- базисними елементами: к-сть нейронів у 1-му шарі – 2, передаточні ф-ції – радіально-базисні, к-сть нейронів у 2-му шарі – 1, передаточна ф-ція – лінійна	0,0126	0,0143

6	“Класична” багатошарова НМ з навчанням за методом зворотного поширення помилки: к-сть шарів – 9, к-сть нейронів у шарах 1-8 – 10, к-сть нейронів у шарі 10 – 1, передаточні функції – сигмоїдні	0,1452	0,0670
7	Мережа Елмана: к-сть шарів – 10, к-сть нейронів у шарах 1-9 – 10, к-сть нейронів у шарі 10 – 1, передаточні функції – сигмоїдні	0,0579	0,0723
8	Багатошарова НМ зі зворотним поширенням помилки – каскадна НМ: к-сть шарів – 10, к-сть нейронів у шарах 1-9 – 10, к-сть нейронів у шарі 10 – 1, передаточні функції – сигмоїдні	0,0644	0,0735
9	Перцептрон: к-сть нейронів – 1, одинична ф-ція активації з жорстким обмеженням	0,0644	0,0749
10	Ймовірнісна НМ: к-сть нейронів у 1-му шарі – 67, передаточні ф-ції – радіально-базисні, к-сть нейронів у 2-му шарі – 1, передаточна ф-ція – ф-ція конкуренції	0,9612	0,9474

Найвищу точність показала багатошарова НМ, результати роботи якої на тестовій вибірці даних при зміні вологості ґрунту в часі наведено на рис. 3 і 4.

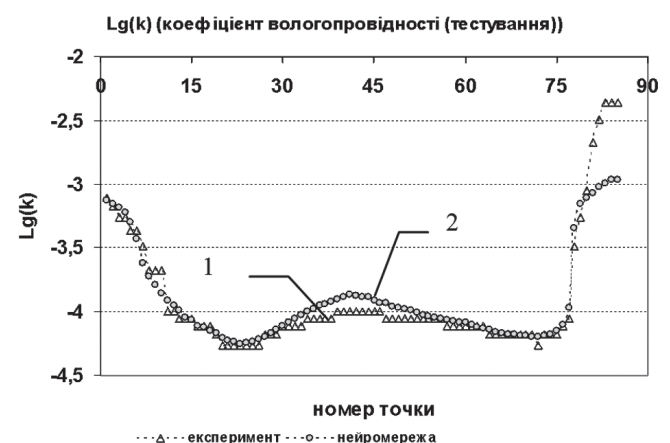


Рис. 3. Результати розрахунку коефіцієнта вологопровідності дерново-підзолистого ґрунту за допомогою багатошарової НМ на тестовій вибірці даних: 1 – тестова вибірка даних, 2 – результати роботи нейронної мережі

Проведемо порівняльний аналіз розрахунку коефіцієнта вологопереносу за аналітичними формулами та за допомогою багатошарової НМ. Для

цього побудуємо графічні залежності коефіцієнта вологопереносу від вологості та від всмоктуючого тиску ґрунту (рис. 5–8). У першому випадку у якості розрахункової залежності використаємо формулу Ван-Генухтена, у другому – формулу Уїнстона.

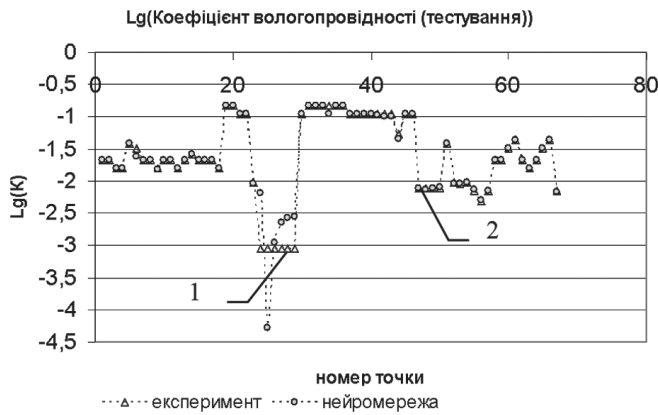


Рис. 4. Результати розрахунку коефіцієнта вологопровідності торфового ґрунту за допомогою багатосарової мережі на тестовій вибірці даних: 1 – тестова вибірка даних, 2 – результати роботи нейромережі

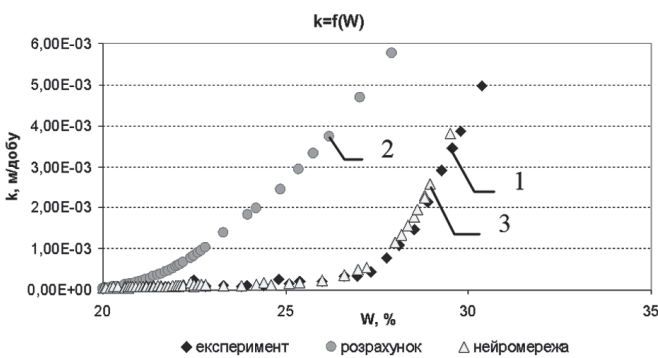


Рис. 5. Результати розрахунку коефіцієнта вологопровідності дерново-підзолистого ґрунту: 1 – експериментальні дані, 2 – результати розрахунку за формулою Ван-Генухтена (СКВ=0,0037), 3 – результати роботи нейромережі (СКВ=0,00045)

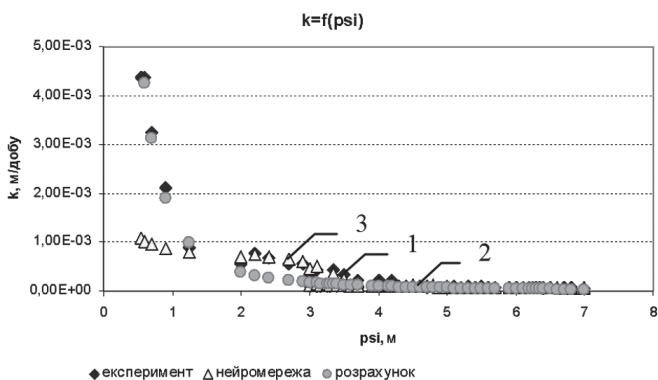


Рис. 6. Результати розрахунку коефіцієнта вологопровідності дерново-підзолистого ґрунту: 1 – експериментальні дані, 2 – результати розрахунку за формулою Уїнстона (СКВ=0,00015), 3 – результати роботи нейромережі (СКВ=0,00069)

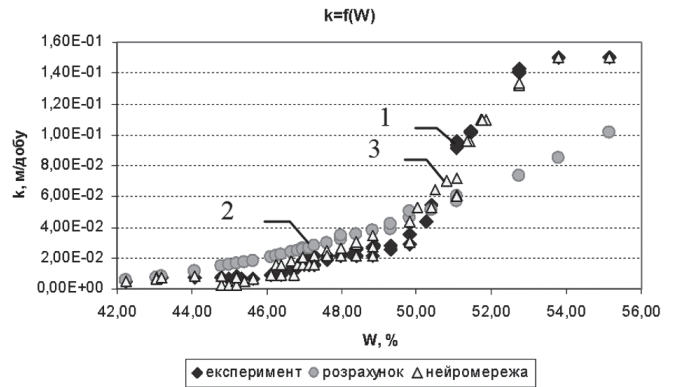


Рис. 7. Результати розрахунку коефіцієнта вологопровідності торфового ґрунту: 1 – експериментальні дані, 2 – результати розрахунку за формулою Ван-Генухтена (СКВ=0,0263), 3 – результати роботи нейромережі (СКВ=0,0107)

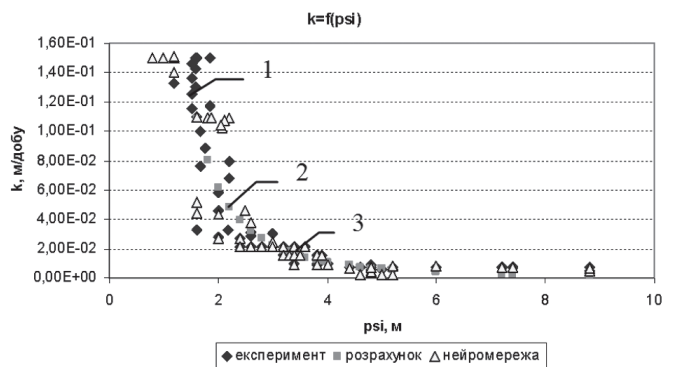


Рис. 8. Результати розрахунку коефіцієнта вологопровідності торфового ґрунту: 1 – експериментальні дані, 2 – результати розрахунку за формулою Уїнстона (СКВ=0,0363), 3 – результати роботи нейромережі (СКВ=0,0109)

Як бачимо із графіків та за даними СКВ нейромережа у більшості випадків показує вищу точність обчислень коефіцієнта вологопереносу, ніж аналітичні формули.

Висновки

Коефіцієнт вологопровідності, який описує фізичні процеси у ґрунті, можна визначити за допомогою ряду емпіричних формул, в які входять експериментальні коефіцієнти. Альтернативною методикою є використання нейронних мереж, за допомогою яких на основі експериментальної вибірки з достатньо високою точністю ідентифікується коефіцієнт вологопровідності або будь-який інший параметр ґрунту, що є функцією від експериментальних даних. Навчену НМ на навчальній вибірці даних можна успішно використовувати на тестових незалежних вибірках для певного типу ґрунту, які не входили у навчальний набір. Серед перспектив подальших досліджень є аналіз роботи інших архітектур НМ для ідентифікації параметрів ґрунту та керування його водно-повітряним режимом.

Список літератури: 1. Ковальчук, П.І. Системна оптимізація водокористування при зрошенні [Текст] / П.І. Ковальчук, Н.В. Пендак, В.П. Ковальчук, М.М. Волошин. — Рівне: НУВГП, 2008. — 204 с. 2. Муромцев, Н.А. Мелиоративная гидрофизика почв. Методы исследования, гидрофизические закономерности, регулирование водного режима почв и растений [Текст] / Н.А. Муромцев. — Л.: «Ленинград гидрометеоиздат», 1991. — 271 с. 3. Глобус, А.М. Почвенно-гидрофизическое обеспечение агроэкологических математических моделей [Текст] / А.М. Глобус. Л.: Гидрометеоиздат, 1987. — 423 с. 4. Луднин, К.П. Исследование влагопроводности ненасыщенной почвы [Текст] / К.П. Луднин, В.М. Гончарик, И.А. Пашкевич // Мелиорация переувлажнённых земель. — Минск, 1973. 5. Круглов, В.В. Нечёткая логика и искусственные нейронные сети [Текст] / В.В. Круглов, М.И. Дли, Р.Ю. Голунов. — Москва, 221 с.

Надійшла до редколегії 14.12.2011

УДК 631.432:626.86

Идентификация коэффициента влагопроводности грунта с помощью нейронных сетей / В.И. Пастушенко, С.К. Матус, А.М. Стеценко // Бионика интеллекта: науч.-техн. журнал. — 2012. — № 1 (78). — С. 23-28.

Статья посвящена анализу существующих методик вычисления коэффициента влагопереноса в ненасыщенную зону грунта и разработке альтернативных методик на базе нейросетей, которые обучаются на экспериментальных данных. При этом использовались нейросетиразной архитектуры. Проведен сравнительный анализ результатов расчетов, выполненных с помощью различных методик.

Табл. 4. Ил. 8. Библиогр.: 5 назв.

UDC 631.432:626.86

The coefficient's of soil's hydraulic conductivity identification by means of neural networks / V. Pastushenko, S. Matus, A. Stetsenko // Bionics of Intelligense: Sci. Mag. — 2012. — № 1 (78). — P. 23-28.

The article is devoted to analysis of existing methods of water transfer coefficient's calculation in non-saturated part of soil and to development of alternative methods on the base of neural networks, which are taught on experimental data. Neural networks of different architecture have being used. It was made a comparative analysis of calculations' results, carried out by different methods.

Tab. 4. Fig. 8. Ref.: 5 items.