

УДК 004.89

DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2023.101.2.159

ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ НЕЙРОМЕРЕЖНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ КЕРУВАННЯ РОБОЧИМИ ПРОЦЕСАМИ БУЛЬДОЗЕРІВ ІЗ GNSS-ІНТЕНСИФІКАТОРОМ

Єфименко О. В., Птушка А. С., Єфименко П. О.
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Анотація. Застосування GNSS і систем інтелектуального керування робочими процесами землерийних машин дає змогу більш точно визначити місце розташування й висоту робочого органа, що сприяє більш ефективній роботі бульдозера. GNSS може забезпечити високу точність вимірювань розташування бульдозера, що допомагає оптимізувати процес роботи й мінімізувати витрати часу на профілювання та вирівнювання поверхні. За допомогою машинного навчання бульдозер може автоматично аналізувати дані GNSS і приймати рішення про оптимальну траєкторію руху для досягнення потрібної точності та швидкості роботи, це підвищує ефективність дії машини, завдяки чому скорочуються терміни і вартість будівельних робіт. У статті розглянуто алгоритми й програмні коди, що можуть бути застосовані для автоматизованого керування робочими процесами землерийних машин із використанням штучного інтелекту. Запропоновано конкретну реалізацію мовами програмування Python та TensorFlow, проаналізовано основні алгоритми й показано необхідність врахування параметрів робочого процесу на машинне навчання.

Ключові слова: GNSS-інтенсифікатор, GPS, непромережені технології, мови машинного навчання, алгоритми, програмні коди, Python, TensorFlow.

Вступ

Управління бульдозером на нейронних мережах є одним із прикладів застосування машинного навчання в галузі будівництва. Машини можуть виконувати завдання без втручання оператора, що спрощує процес і підвищує його ефективність.

Для управління бульдозером використовуються нейронні мережі зворотного зв'язку, навчання яких можна проводити на основі вхідних даних, таких як відстань до мети, швидкість і напрямок руху бульдозера, а також інформація про зовнішні умови, наприклад, про якість ґрунту або погодні умови.

Машинне навчання застосовується для поліпшення функціональності будівельної машини. Наприклад, можна навчити машину розпізнавати різні типи матеріалів або поверхонь, з якими вона працює. Це сприятиме більш ефективному виконанню завдань, які стоять перед машиною.

Також машинне навчання дає змогу оптимізувати роботу будівельної машини. Наприклад, можна навчити машину аналізувати дані про продуктивність і ефективності її роботи, що допоможе їй знаходити оптимальні способи виконання завдань і підвищувати свою продуктивність.

Крім того, машинне навчання може використовуватися для аналізу даних про роботу

будівельних машин, що дасть змогу визначити причини відмов, а отже, швидко їх усунути, підвищити продуктивність і довговічність машин.

Вхідні дані можна отримати за допомогою датчиків, установлених на бульдозері, а також системи комп'ютерного зору, здатної обробляти відеопотоки з камер, установлених на бульдозері, або використовувати GNSS-інтенсифікатори, тобто системи супутникової навігації.

Для навчання нейронної мережі може бути використаний алгоритм зворотного поширення помилок, що дає змогу нейронній мережі коригувати свої ваги з огляду на різницю між прогнозованими й очікуваними результатами.

Після навчання нейронна мережа здатна автоматично керувати бульдозером у режимі реального часу. Звичайно, така система потребує ретельного тестування та безпеки під час роботи з потужним обладнанням машини.

Аналіз публікацій

Аналіз літератури [2, 3, 4–17], у якій досліджуються методи використання нейромережних технологій, показав, що системи штучного інтелекту можуть бути використані для машин, оснащених GNSS-інтенсифікаторами, наприклад для бульдозерів фірми *Liebherr* (рис. 1, 2).



Рис. 1. Установлення систем машинного контролю *Leica Geosystems* на бульдозер *Liebherr*



Рис. 2. Процес навчання систем машинного контролю *Leica Geosystems*

Мета та постановка завдання

На рис. 3 зображено структурну схему системи керування процесом аналізу та прогнозу-

зування стану об'єкта для інтелектуальної системи дорожньої машини. Наведена система поділяється на [8]:

- 1) керувальну підсистему дорожньої машини (суб'єкт керування, S);
- 2) керовану підсистему дорожньої машини (об'єкт керування, O);
- 3) модель об'єкта (у цьому випадку нечітка когнітивна модель Y). Нечітка когнітивна модель використовується у зв'язку з тим, що стан об'єкта аналізу, як правило, характеризують числові та якісні показники. Це потребує приведення їх до єдиної одиниці виміру.

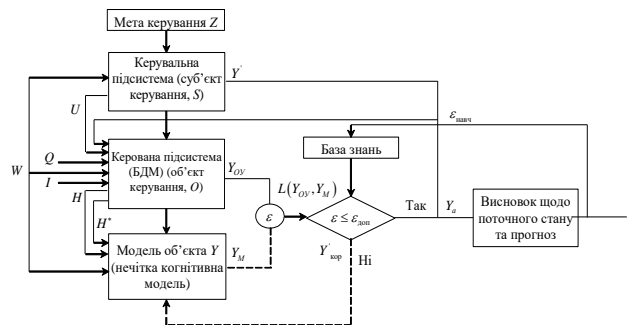


Рис. 3. Структурна схема системи аналізу та прогнозування стану об'єкта

З метою аналізу роботи алгоритмів навчання штучних нейронних мереж із *GNSS*-інтенсифікаторами у статті наведено приклади узагальнених алгоритмів навчання штучних нейронних мереж і приклади програмних кодів. Звичайно, алгоритми навчання штучних нейронних мереж з огляду на робочі параметри процесу в подальшому будуть удосконалюватися.

На жаль, на сьогодні дуже мало публікацій з цієї тематики українською мовою, тому мета статті – проаналізувати основні алгоритми й програмні засоби реалізації для таких систем.

Перед авторами стоять завдання: подати стислу класифікацію мов навчання; навести приклади використання та побудови алгоритмів, що можуть бути застосовані для систем автоматизованого керування; підбити підсумки та визначити напрями подальших досліджень.

Функціонал програм автоматизованого керування

Процес розроблення повної програми для керування *GNSS*-машиною може бути дуже складним завданням, оскільки залежить від багатьох факторів, зокрема моделі й типу машини, вимог до функціональності тощо. Авторами статті запропоновано послідовність

дій, яку можна використовувати для вирішення цього завдання:

1) отримання інформації про поточне місцезнаходження машини за допомогою системи *GNSS* (наприклад, *GPS*);

2) аналіз даних про місцезнаходження та розрахунок маршруту до заданого пункту;

3) визначення оптимальної швидкості й напрямку з огляду на фактори, такі як дорожні умови, перешкоди, максимальна швидкість бульдозера тощо;

4) керування двигуном машини та іншими системами (наприклад, гальмуванням) відповідно до визначеного маршруту й оптимальних параметрів руху;

5) моніторинг поточного місцезнаходження та швидкості роботи машини, а також виявлення й усунення будь-яких технічних проблем.

Класифікація програм для побудови й навчання нейронних мереж

Існує значна кількість програм для побудови й навчання нейронних мереж. Аналіз показав найбільш перспективні для створення нейронних мереж:

- *TensorFlow* – один із найпопулярніших фреймворків машинного навчання, що можна використовувати для побудови різних типів нейронних мереж. *TensorFlow* має гнучку та зручну інфраструктуру, що дає змогу створювати складні моделі глибокого навчання;

- *PyTorch* – популярний фреймворк машинного навчання, що можна застосовувати для побудови нейронних мереж. *PyTorch* має простий і зручний інтерфейс, що допомагає швидко створювати й тренувати моделі;

- *Keras* – бібліотека для побудови нейронних мереж на *Python*. *Keras* має простий і зрозумілий інтерфейс, що дає змогу швидко створювати й тренувати моделі нейронних мереж;

- *Caffe* – фреймворк машинного навчання, що використовується з метою побудови та навчання нейронних мереж для різних завдань;

- когнітивний інструментарій *Microsoft CNTK* – фреймворк машинного навчання від *Microsoft*, що можна застосовувати для побудови нейронних мереж. *CNTK* має високу продуктивність і підтримує розподілене навчання;

- *Theano* – бібліотека для побудови нейронних мереж на *Python*. *Theano* має високу продуктивність і використовується для побудови різних типів нейронних мереж.

Вибір конкретної програми залежить від завдання, для виконання якого необхідно побудувати нейронну мережу, а також від досвіду користувача.

Алгоритм роботи програми керування бульдозером

Написання програми керування бульдозером на нейронних мережах – завдання, що потребує високої кваліфікації в галузі машинного навчання та інженерії. Крім того, така програма вимагає великої кількості даних для навчання нейронної мережі, а також спеціалізованих датчиків і обладнання для отримання інформації про стан бульдозера та ґрунтові умови.

Загалом програма керування бульдозером на нейронних мережах має чіткий алгоритм.

- Збір даних: збирають дані про роботу бульдозера за допомогою датчиків і системи *GPS* (наприклад, швидкість, напрямок руху, глибина копання, кут нахилу, температура двигуна, параметри ґрунту тощо).

- Оброблення даних: інформація обробляється та перетворюється таким чином, щоб її можна було використовувати в нейронній мережі.

- Аналіз даних: інформація аналізується за допомогою алгоритмів машинного навчання (наприклад, дерева рішень, випадкові параметри, нейронні мережі тощо) для виявлення закономірностей і тенденцій роботи бульдозера.

- Створення нейронної мережі: її структура має декілька шарів, які навчаються на зібраних даних.

- Модельне навчання: тренінг моделі машинного навчання з використанням зібраних даних та алгоритмів машинного навчання. Модель може бути навчена різних видів робіт (наприклад, риття котлованів, мощення дорожнього покриття, вирівнювання поверхні тощо).

- Прогнозування: з допомогою навченої моделі прогнозують оптимальні параметри продуктивності бульдозера для виконання завдання на будівельному майданчику. До таких параметрів належать оптимальна швидкість пересування, глибина копання, кут нахилу лопати тощо.

- Тестування та налаштування: після навчання нейронна мережа тестується за різними сценаріями та налаштовується на досягнення найкращого результату.

- Автоматичне керування: автоматична система керування бульдозером налаштовується

таким чином, щоб машина могла приймати рішення на основі прогнозів моделі машинного навчання й самостійно контролювати роботу бульдозера (автоматичний підбір швидкості руху, глибина копання і под.).

- Моніторинг і аналіз: передбачає збирання інформації про продуктивність бульдозера під час виконання завдань, її аналіз за допомогою моделі машинного навчання та використання набутих знань, підвищення продуктивності та оптимізація роботи бульдозера на майбутніх проектах.

- Інтеграція з бульдозером: нейронна мережа інтегрується із системою керування бульдозером, щоб забезпечити його роботу в режимі реального часу. Для цього можна використовувати різні технології, наприклад ROS (*Robot Operating System*), або інші фреймворки для керування роботами.

- Подальше навчання та вдосконалення: щоб система продовжувала ефективно працювати, необхідно провести подальше навчання й удосконалення нейронної мережі. Це може передбачати додавання нових даних або зміну архітектури нейронної мережі.

Реалізація програми керування бульдозером на *Python*

Повноцінна програма керування бульдозером на *Python* потребує досвіду роботи з фізичним обладнанням. Однак можна запропонувати загальну структуру для такої програми й приклади команд, які можна використовувати для керування бульдозером через програмне забезпечення.

Загальна структура програми може виглядати приблизно так:

```
python
Copy code
import bulldozer_controller
# Створення об'єкта для керування бульдозером
bulldozer = bulldozer_controller.Bulldozer()
# Запуск програми керування бульдозером
while True:
    # Збір даних датчиків і аналіз поточного стану бульдозера
    sensors_data =
bulldozer.get_sensors_data()
    # Аналізувати дані та приймати рішення про дії бульдозера
    bulldozer_actions =
analyze_sensors_data(sensors_data)
    # Аналізувати дані та приймати рішення про дії бульдозера
    bulldozer.execute_actions(bulldozer_actions)
```

Приклади команд, які можна використовувати для керування бульдозером:

```
python
Copy code
```

```
bulldozer.move_forward(distance)
# Переміщення назад на певну відстань
bulldozer.move_backward(distance)
```

```
# Переміщення назад на певну відстань
bulldozer.turn_left(angle)
```

```
# Поверніть праворуч під певним кутом
bulldozer.turn_right(angle)
```

```
# Підйом відвала бульдозера
bulldozer.raise_blade()
```

```
# Поверніть праворуч під певним кутом
bulldozer.lower_blade()
```

```
# Налаштування швидкості роботи бульдозера
bulldozer.set_speed(speed)
```

```
# Налаштування швидкості роботи бульдозера
bulldozer.stop()
```

Звичайно, ці команди можуть відрізнятися залежно від моделі бульдозера й використовуваного обладнання. Але це дає загальне уявлення про програму керування бульдозером у *Python*.

Приклад реалізації програми керування приводом відвала машини

Приклад коду *Python* за допомогою бібліотеки *TensorFlow*:

```
python
Copy code
import tensorflow as tf
```

```
# Збирання даних
X_train = [...]
y_train = [...]
```

```
# Підготовка даних
X_train = tf.keras.utils.normalize(X_train, axis=1)
```

```
# Створення нейромережної моделі
model = tf.keras.models.Sequential()
model.add(tf.keras.layers.Flatten(input_shape=(X_train.shape[1],)))
```

```

model.add(tf.keras.layers.Dense(128,
activation=tf.nn.relu))
model.add(tf.keras.layers.Dense(128,
activation=tf.nn.relu))
model.add(tf.keras.layers.Dense(1,
activation=tf.nn.sigmoid))

# Створення нейромережної моделі
model.compile(optimizer='adam',
loss='binary_crossentropy', metrics=['accuracy'])

# Тренінг моделі
model.fit(X_train, y_train, epochs=100)

# Тестування моделі
X_test = [...]
y_test = [...]
X_test = tf.keras.utils.normalize(X_test,
axis=1)
model.evaluate(X_test, y_test)

# Використання моделі для керування при-
водом відвала
current_position = [...]
prediction = model.predict(current_position)
if prediction[0][0] > 0.5:
    # Відвал необхідно опустити
    # Надіслати керувальний сигнал на при-
вод
else:

```

Приклад коду для навчання нейронної мережі на основі *TensorFlow*

У цьому прикладі створюємо модель з одним прихованим шаром та використовуємо функцію активації ReLU. Функцію втрат визначено як середньоквадратичну помилку між вихідними даними та очікуваними результатами. Для оптимізації використовується метод градієнтного спуску із зазначеною швидкістю навчання.

Можливо адаптувати цей код для конкретного завдання керування бульдозером із визначенням потрібної кількості вхідних даних.

```

import tensorflow as tf

# Задаємо параметри моделі
input_size = 10 # Кількість входів
hidden_size = 20 # Кількість прихованих
нейронів
output_size = 1 # Кількість виходів
learning_rate = 0.01 # Швидкість навчання

# Визначаємо вхідні дані та очікуваний ре-
зультат

```

```

inputs = tf.placeholder(tf.float32, [None,
input_size])
labels = tf.placeholder(tf.float32, [None,
output_size])

```

```

# Створюємо модель нейронної мережі
weights1 =
tf.Variable(tf.random_normal([input_size,
hidden_size]))
biases1 = tf.Variable(tf.zeros([hidden_size]))
hidden_layer = tf.nn.relu(tf.matmul(inputs,
weights1) + biases1)
weights2 =
tf.Variable(tf.random_normal([hidden_size,
output_size]))
biases2 = tf.Variable(tf.zeros([output_size]))
outputs = tf.matmul(hidden_layer, weights2)
+ biases2

```

```

# Визначаємо функцію втрат і метод опти-
мізації
loss = tf.reduce_mean(tf.square(labels -
outputs))
optimizer =
tf.train.GradientDescentOptimizer(learning_r
ate).minimize(loss)

```

```

# Запускаємо сесію TensorFlow
with tf.Session() as sess:
    # Ініціалізуємо змінні моделі
    sess.run(tf.global_variables_initializer())

```

```

# Навчаємо модель на тренувальних да-
них
for i in range(num_epochs):
    sess.run(optimizer, feed_dict={inputs:
train_inputs, labels: train_labels})

```

```

# Оцінюємо результати на тестових да-
них
test_loss = sess.run(loss,
feed_dict={inputs: test_inputs, labels:
test_labels})
print("Test Loss: {}".format(test_loss))

```

Алгоритми нейромережної системи керування з *GNSS*

Система керування нейронною мережею з використанням GPS може бути розроблена для забезпечення автономного керування транспортними засобами й машинами на основі даних реального часу про поточне місцезнаходження і навколишнє середовище.

Процес розроблення такої системи може мати кілька етапів. Розглянемо їх.

- Збирання та оброблення даних. Для розроблення системи необхідно збирати та обробляти дані GPS, інформацію про навколишнє середовище, дані датчиків тощо.

- Розвиток нейронної мережі. Для вирішення завдання керування бульдозером на основі GPS та інших даних необхідно розробити нейронну мережу, що прийматиме вхідні дані та видаватиме відповідні керувальні сигнали.

- Навчання нейронних мереж. Нейронна мережа має бути навчена обробляти та класифікувати дані, щоб правильно реагувала на різні ситуації та приймала рішення щодо керування бульдозером.

- Інтеграція з GPS та іншими датчиками. Розроблена нейронна мережа має бути інтегрована з GPS та іншими датчиками для отримання даних про місцезнаходження, швидкість, температуру, вологість та інші параметри навколишнього середовища.

- Тестування та оптимізація. Після інтеграції система має бути протестована та оптимізована, щоб забезпечити точне й надійне керування бульдозером.

- Розроблення та вдосконалення системи. Систему необхідно постійно навчати нових даних, щоб підвищити її точність і надійність.

Приклад програми *Python*, що використовує дані датчика GPS для керування бульдозером

```
import serial
import time

# Ініціалізація послідовного порту для зчитування даних GPS
gps_serial = serial.Serial('/dev/ttyUSB0',
baudrate=9600, timeout=1)

# Функція зчитування даних GPS
def read_gps():
    gps_data = None
    while gps_data is None:
        gps_line =
gps_serial.readline().decode('utf-8')
        if gps_line.startswith('$GPGGA'):
            gps_data = gps_line.split(',')
            return gps_data

# Основний програмний цикл
while True:
    # зчитування даних GPS
    gps_data = read_gps()

    # У разі успішного отримання даних
GPS
```

```
if gps_data is not None:
```

```
# Вилучення координат із даних GPS
latitude = float(gps_data[2])
longitude = float(gps_data[4])
```

Виконання бульдозерного контролю на основі координат. Наприклад, можливо використовувати повзунок PID для керування кутом нахилу відвала бульдозера залежно від координати або порівняти поточні координати з координатами робочої ділянки та визначити напрямок руху бульдозера.

```
# Затримка читання наступних даних
GPS
time.sleep(0.1)
```

Цей код зчитує дані GPS з послідовного порту за допомогою послідовного модуля. Для керування грейдером на основі координат можна використовувати різні алгоритми й методи залежно від конкретного завдання. Наприклад, можна застосовувати PID-регулятор для контролю кута нахилу відвала бульдозера залежно від координати або порівнювати поточні координати з координатами робочої ділянки й визначати напрямок руху бульдозера. Ці дії можуть виконуватися в межах основного програмного циклу. Затримки `time.sleep(0.1)` використовуються для зчитування наступних даних GPS.

Висновки

У роботі стисло розглянуто особливості використання нейромережних технологій для систем машинного контролю та навчання з метою підвищення продуктивності бульдозерів.

Аналіз показав, що особливу увагу необхідно приділяти впливу швидкості машини на ефективність роботи нейронної мережі. На наш погляд, є низка факторів, які важливо брати до уваги під час вибору робочих швидкостей бульдозера. Перелічимо їх.

- Довжина та частота оновлення сегментів даних. Якщо відвал рухається занадто швидко, частота оновлення сегментів даних може бути занадто високою для нейронної мережі. Це може привести до втрати даних, що може значно знизити продуктивність нейронної мережі.

- Час реакції нейронної мережі. Коли машина рухається занадто швидко, нейронна мережа, імовірно, не встигне обробити дані, отримані від датчиків у режимі реального часу. Це може знизити точність керування, що

приведе до помилок і пошкодження робочого обладнання.

- Складність завдання. Якщо завдання, виконуване машиною, занадто складне, то її швидкість може мати вирішальне значення в роботі. Наприклад, якщо машина виконує завдання розроблення траншеї, швидкість дії бульдозера, імовірно, стане вирішальним фактором для керування робочим процесом.

Загалом швидкість роботи бульдозера має бути підібрана так, щоб нейронна мережа мала змогу обробляти дані в режимі реального часу й виконувати поставлене завдання з високою точністю. Залежно від конкретного типу робіт і умов експлуатації машини оптимальна швидкість може значно відрізнятись.

Вибір параметрів швидкості є напрямком подальших досліджень використання систем автоматичного керування БДМ за допомогою штучного інтелекту.

Література

- Коротков А., Потапенко А. Використання нейронних мереж для керування будівельними машинами. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2019. Вип. 29.5. С. 113–119.
- Коротков А., Потапенко А. Аналіз методів керування будівельними машинами з використанням нейронних мереж. *Матеріали XXIII Міжнародної науково-технічної конференції «Наукові досягнення сучасності»*. 2019. С. 72–73.
- Шимко Р., Потапенко А. Використання нейронних мереж для підвищення ефективності керування будівельними машинами. *Системи управління, навігації та зв'язку*. 2021. Вип. 1 (57). С. 30–35.
- Шимко Р. Використання нейронних мереж для керування рухом будівельних машин. *Енергетика, електротехніка, енергозбереження*. 2020. Вип. 3 (54). С. 32–36.
- Development of a method for training artificial neural networks for intelligent decision support systems / V. Dudnyk et al. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2020. Vol. 3. No. 2 (105). P. 37–47.
- Development of an advanced method of finding solutions for neuro-fuzzy expert systems of analysis of the radioelectronic situation / H. Pievtsov et al. *EUREKA: Physics and Engineering*. 2020. No. 4. P. 78–89.
- Development of complex methodology of processing heterogeneous data in intelligent decision support systems / P. Zuiev et al. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2020. Vol. 4, No. 9 (106). P. 14–23.
- Complex Methods of Processing Different Data in Intellectual Systems for Decision Support System / A. Shyshatskyi et al. *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering*. 2020. Vol. 9. No. 4. P. 5583–5590.
- Çavdar A. B, Ferhatosmanoğlu N. Airline customer lifetime value estimation using data analytics supported by social network information. *Journal of Air Transport Management*. 2018. Vol. 67. P. 19–33.
- Ramaji I. J., Memari A. M. Interpretation of structural analytical models from the coordination view in building information models. *Automation in Construction*. 2018. Vol. 90. P. 117–133
- Development of an algorithm for complex processing of geospatial data in the special-purpose geoinformation system in conditions of diversity and uncertainty of data / A. Koshlan et al. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. Vol. 5. No. 9 (101). P. 16–27.
- The method of improving the efficiency of routes selection in networks of connection with the possibility of self-organization / N. Kuchuk et al. *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering*. 2019. Vol. 8. No. 1. P. 1–6.
- Zhdanov V. V. Experimental method to predict avalanches based on neural networks. *Lёд і Sneg*. 2016. Vol. 56. No. 4. P. 502–510.
- Sreeshakthy M., Preethi J. Classification of human emotion from deep EEG signal using hybrid improved neural networks with Cuckoo search. *Brain: Broad Research in Artificial Intelligence and Neuroscience*. 2016. Vol. 6. No. 3–4. P. 60–73.
- Abaci K., Yamacli V. Hybrid artificial neural network by using differential search algorithm for solving power flow problem. *Advances in Electrical and Computer Engineering*. 2019. Vol. 19. No 4. P. 57–64.
- Mishchuk O. S., Vitynskyi P. O. Neural network with combined approximation of the surface of the response. *Research Bulletin of the National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute»*. 2018. No. 2. P. 18–24.
- Kazemi M., M. Faezirad M. Efficiency estimation using nonlinear influences of time lags in DEA Using Artificial Neural Networks. *Industrial Management Journal*. 2018. Vol. 10. No. 1. P. 17–34.

References

- Korotkov, A., Potapenko, A. (2019) The use of neural networks for controlling construction machines. *Scientific Bulletin of the National Technical University of Ukraine*, no. 29.5, pp. 113–119.
- Korotkov, A., Potapenko, A. (2019) Analysis of methods for controlling construction machines using neural networks. *Proceedings of the XXIII International Scientific and Technical Conference "Scientific Achievements of the Present"*, pp. 72–73.
- Shymko, R., Potapenko, A. (2021) The use of neural networks to improve the efficiency of

- construction machine control. *Control, navigation and communication systems*, no. 1 (57), pp. 30–35.
4. Shymko, R. (2020) The use of neural networks to control the movement of construction machines. *Energy, electrical engineering, energy saving*, no. 3 (54), pp. 32–36.
 5. Dudnyk, V., Sinenko, Yu., Matsyk, M., Demchenko, Ye., Zhyvotovskiy, R., Repilo, Iu., Zabolotnyi, O., Simonenko, A., Pozdniakov, P., Shyshatskiy, A. (2020) Development of a method for training artificial neural networks for intelligent decision support systems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, no. 2 (105), pp. 37–47.
 6. Pievtsov, H., Turinskyi, O., Zhyvotovskiy, R., Sova, O., Zvieriev, O., Lanetskii, B., Shyshatskiy, A. (2020) Development of an advanced method of finding solutions for neuro-fuzzy expert systems of analysis of the radioelectronic situation. *EUREKA: Physics and Engineering*, no. 4, pp. 78–89.
 7. Zuiev, P., Zhyvotovskiy, R., Zvieriev, O., Hatsenko, S., Kuprii, V., Nakonechniy, O., Adamenko, M., Shyshatskiy, A., Neroznak, Y., Velychko, V. (2020) Development of complex methodology of processing heterogeneous data in intelligent decision support systems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, no. 9 (106), pp. 14–23.
 8. Shyshatskiy, A., Zvieriev, O., Salnikova, O., Demchenko, Ye., Trotsko, O., Neroznak, Ye. (2020) Complex Methods of Processing Different Data in Intellectual Systems for Decision Support System. *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering*, no. 4, pp. 5583–5590.
 9. Çavdar, A. B., Ferhatosmanoğlu, N. (2018) Airline customer lifetime value estimation using data analytics supported by social network information. *Journal of Air Transport Management*, no. 67, pp. 19–33.
 10. Ramaji, I. J., Memari, A. M. (2018) Interpretation of structural analytical models from the coordination view in building information models. *Automation in Construction*, no. 90, pp. 117–133.
 11. Koshlan, A., Salnikova, O., Chekhovska, M., Zhyvotovskiy, R., Prokopenko, Y., Hurskiy, T., Yefymenko, A., Kalashnikov, Y., Petruk, S., Shyshatskiy, A. (2019) Development of an algorithm for complex processing of geospatial data in the special-purpose geoinformation system in conditions of diversity and uncertainty of data. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, no. 9 (101), pp. 16–27.
 12. Kuchuk, N., Mohammed, A. S., Shyshatskiy, A., Nalapko, O. (2019) The method of improving the efficiency of routes selection in networks of connection with the possibility of self-organization. *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering*, no. 1 (8), pp. 1–6.
 13. Zhdanov, V. V. (2016) Experimental method to predict avalanches based on neural networks. *Lёд i Sneg*, no. 4 (56), pp. 502–510.
 14. Sreeshakthy, M., Preethi, J. (2016) Classification of human emotion from deep EEG signal using hybrid improved neural networks with Cuckoo search. *Brain: Broad Research in Artificial Intelligence and Neuroscience*, no. 3–4, pp. 60–73.
 15. Abaci, K., Yamacli, V. (2019) Hybrid artificial neural network by using differential search algorithm for solving power flow problem. *Advances in Electrical and Computer Engineering*, no. 4 (19), pp. 57–64.
 16. Mishchuk, O. S., Vitynskiy, P. B. (2018) Neural network with combined approximation of the surface of the response. *Research Bulletin of the National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute"*, no. 2, pp. 18–24.
 17. Kazemi, M., M. Faezirad, M. (2018) Efficiency estimation using nonlinear influences of time lags in DEA Using Artificial Neural Networks. *Industrial Management Journal*, no. 1 (10), pp. 17–34.
- Єфименко Олександр Володимирович**, канд. техн. наук, професор кафедри будівельних, дорожніх машин та обладнання, khadi_alef@gmail.com, ORCID: 0000-0003-0628-7893.
- Птушка Анастасія Сергіївна**, канд. філол. наук, доцент кафедри іноземних мов, metodengl@gmail.com, ORCID: 0000-0003-3177-5370.
- Єфименко Павло Олександрович**, аспірант кафедри будівельних, дорожніх машин та обладнання, ef_pavel@gmail.com.
- Харківський національний автомобільно-дорожній університет, 61002, Україна, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25.

Special features of using neuronetwork technologies to control the work processes of bulldozers with a gns-intensifier

Abstract. Problem. The specificity of modern road construction works requires evaluation of the situation; forecast of the machine's normal operation and the development of emergency situations; synthesis and evaluation of possible actions of the operator and selection of the best ones. That is, **there is a problem of effective support of the road car, whose solution is transferred to the intelligence of the car itself.** A distinctive feature of intelligent systems is the ability to plan behaviour, adapt and learn. An intelligent system automatically changes the algorithms of its functioning and the structure in order to preserve or achieve an optimal state when external conditions change. The integration of algorithmic methods of controlling complex objects and methods of artificial intelligence is aimed at solving the tasks with uncertainty of the source information. The implementation of intelligent systems shows their prospects in the field of road construction works. Thus,

optimization of road machine work processes, increasing the efficiency of road-construction machines (RCM) due to an intelligent control system is an urgent task. Studying the structure of the intelligent system of the road machine is relevant as well as developing a mathematical model of intelligent optimization of work processes based on the complex of readings of integrated GNSS sensors. **Goal.** The purpose of the research is to increase the efficiency of construction machines through their intellectualization, development of scientific algorithms for creating mathematical models of the working bodies of the RCM with SNS-intensifier of work processes of interaction with the soil environment. **Methodology.** In the paper the scientific methods of system analysis and decision-making theory for the structuring and synthesis of intelligent control systems are used; mathematical modeling methods for building and researching hydraulic and dynamic models of road vehicles; theories of automatic control under conditions of uncertainty; methods of object-oriented programming for simulation modeling of a road machine work process during operations. **Results.** For the first time, the methods of solving the problem of controlling the hydraulic drive of a road machine were offered, which, unlike traditional ones, take into account the execution of digging operations in conditions of a short decision-making time, which ensures the movement of the working body along an arbitrary trajectory in a short time with high accuracy.

Originality. This paper is one of the first in Ukraine in which the scientific problem of increasing the efficiency of RCM at the interaction of working bodies with the soil environment in conditions of limited time for decision-making was formulated and solved.

Practical value. Time of work is cut due to the reduced number of passes during soil development and increasing the productivity of RCM, which will have a positive effect on financial and labour costs, ensuring the possibility of continuous operation, which increases the productivity of RCM.

Key words: GNSS-intensifier, GPS, unmediated technologies, machine learning languages, algorithms, program codes, Python, TensorFlow.

Yefymenko Oleksandr, Candidate of Technical Sciences, Professor of the Department of Construction and Road Machinery, khadi_alef@gmail.com.

ORCID: 0000-0001-9905-8584.

Ptushka Anastasiia, Candidate of Philological Sciences, Associate Professor of the Department of Foreign Languages, metodengl@gmail.com.

ORCID: 0000-0003-3177-5370.

Yefymenko Pavlo, postgraduate student, the Department of Construction and Road Machinery, ef_pavel@gmail.com.

Kharkiv National Automobile and Highway University, 25, Yaroslava Mudrogo str., Kharkiv, 61002, Ukraine.
