

8. *Войтенко С. П.* Математична обробка геодезичних вимірів. Теорія похибок вимірів : навчальний посібник / С. П. Войтенко. – К. : КНУБА, 2003. – 216 с.

**Крячок Сергій Дмитрович** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри геодезії, картографії та землеустрою, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

**Крячок Сергей Дмитриевич** – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры геодезии, картографии и землеустройства, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

**Kryachok Serhii** – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Geodesy, Cartography and Land Management, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** kryachock.serg@yandex.ru

УДК 004.8

*Анатолій Ревко, Артем Фесенко*

## ЕЛЕКТРОННА СИСТЕМА РОЗПІЗНАВАННЯ ОБРАЗІВ ДЛЯ КЕРУВАННЯ ЧАСТКОВО АВТОНОМНОЮ РУХОМОЮ ПЛАТФОРМОЮ НА КОЛЕСАХ ІЛОНА

*Анатолій Ревко, Артём Фесенко*

## ЭЛЕКТРОННАЯ СИСТЕМА РАСПОЗНАВАНИЯ ОБРАЗОВ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ЧАСТИЧНО АВТОНОМНОЙ ПОДВИЖНОЙ ПЛАТФОРМОЙ НА КОЛЕСАХ ИЛОНА

*Anatolii Revko, Artem Fesenko*

## ELECTRONIC SYSTEM OF PATTERN RECOGNITION FOR PARTLY AUTONOMOUS MOBILE PLATFORM ON BENGT ILON WHEELS

Розглянуто можливість побудови електронної системи розпізнавання образів для частково автономного керування рухомою платформою на колесах Ілона. Запропоновано для розпізнавання образів використовувати штучну нейронну мережу, що дозволить платформі маневрувати частково автономно, орієнтуючись на об'єкти навколишнього середовища, а також одержувати команди з навколишнього середовища у вигляді графічних символів. Машина, що пересувається на колесах Ілона, вирізняється з-поміж інших аналогічних пристроїв можливістю виконувати досить складні маневри в обмеженому просторі. Це робить їх дуже перспективними для використання в багатьох галузях промисловості, зберігання та перевезення вантажів, військової сфері, де є необхідність переміщуватися в обмеженому просторі, виконувати складні рухи, що неможливі для платформ на звичайних колесах.

**Ключові слова:** розпізнавання образів, штучна нейронна мережа, колеса Ілона, перцептрон.

*Рис.:6. Бібл.: 9.*

Рассмотрена возможность создания электронной системы распознавания образов для частично автономного управления подвижной платформой на колесах Илона. Предложено для распознавания образов использовать искусственную нейронную сеть, что позволит платформе маневрировать частично автономно, ориентируясь на объекты окружающей среды, а также получая команды в виде графических символов. Машины, передвигающиеся на колёсах Илона, отличаются от других аналогичных устройств возможностью выполнять достаточно сложные манёвры в ограниченном пространстве. Это свойство делает их крайне перспективными для использования во множестве отраслей, хранения и перевозке грузов, военной сфере, везде, где есть необходимость перемещаться в ограниченном пространстве, выполнять сложные развороты, недоступные для платформ на обычных колёсах.

**Ключевые слова:** распознавание образов, искусственная нейронная сеть, колёса Илона, перцептрон.

*Рис.:6. Библ.: 9.*

The article discusses the possibility of creating the electronic system of pattern recognition for partly autonomous control mobile platform on Bengt Ilon. It is proposed using artificial neuron system for pattern recognition. It allowing the platform maneuvers partly autonomous orient on the environment. Command can also be obtained from the environment in the form of graphic images. The devices moving on mechanum wheels different from other similar devices to perform quite complex maneuvers in confined spaces. This property makes them extremely promising for use in many industries, storage and transport goods military field, wherever there is a need to move in a confined space to perform complex turns, platforms inaccessible to conventional wheels.

**Key words:** pattern recognition, artificial neuron system, perceptron, mechanum wheels.

*Fig.:6. Bibl.:9.*

**Вступ.** На нинішньому етапі розвитку науки й техніки вже існують достатні теоретичні та практичні підвалини до якомога більшої автоматизації різноманітних виробничих процесів та сфер, пов'язаних з ними. Також важливим та перспективним напрям-

ком є впровадження автоматизації в системи керування різноманітними транспортними засобами. Особливо важливим це може бути в критичних, аварійних ситуаціях, коли реакція водія є не достатньо швидкою для уникнення катастрофічних наслідків.

Застосування ж на транспортних засобах коліс Ілона замість звичайних надає принципово нові можливості для складного маневрування як у відкритому, так і тісному просторі.

Саме тому доцільним є розроблення як самої системи автоматичного керування транспортним засобом, оснащеним колесами Ілона, що буде реагувати на зміни в навколишньому середовищі, так і напрацювання певних рекомендацій щодо її застосування.

Досить детально особливості роботизованих платформ з колесами Ілона розглянуто в окремій статті [1]. Зупинимось на ключових властивостях.

З метою зменшення навантаження на оператора та підвищення ступеня автономності роботизованої платформи доцільним є застосування автономної системи розпізнавання образів.

Крім власне завдання розпізнавання образів, також вирішення потребують завдання попереднього оброблення зображення (у випадку візуальних образів), або звуку (у випадку розпізнавання звукових сигналів) для подальших операцій розпізнавання.

Так доцільним є застосування штучних нейронних мереж [2]. Це спричинено такими перевагами, як здатність працювати з пошкодженими та такими, що містять шум, зображеннями, здатність до навчання, нечутливість до незначних відхилень від еталона та інше.

Узагалі система розпізнавання образів може бути не обов'язково розрахованою на роботу з візуальними образами об'єктів. Так для роботи у складних підводних умовах, де немає можливості орієнтуватися на зовнішній вигляд навколишнього середовища, було розроблено морський підводний захват з тактильними датчиками, що досліджує навколишнє середовище за допомогою дотику [3]. Головною перевагою такої системи є можливість працювати в абсолютній темряві чи за умов нульової видимості без застосування відеокамер. Оскільки відеокамери потребують додаткового захисту від тиску морської води, така система є дуже ефективною для глибоководних робіт. Розплатою за цю перевагу є відносно невелика швидкість власне розпізнавання, тому що захвату потрібно декілька разів торкнутися об'єкта розпізнавання для одержання даних про нього.

Так уже існують програмні моделі системи розпізнавання державних реєстраційних знаків на базі неогонітрона [4]. Вони дозволяють досягти вражаючих результатів навіть під час розпізнавання об'єктів, що нахилені під кутом або за поганого освітлення. Така система не потребує попередньої бінаризації зображення. Відповідно до поданих результатів експериментів неогонітрон більш ефективно за перцептрон долає геометричні спотворення, такі як розтяг або стиск зображення, шуми, повороти та зсуви. Проте недоліками таких систем є їх складність та досить чутливі вимоги щодо можливостей апаратного забезпечення.

Детально проблеми математичного моделювання та навчання неогонітрона розглянуто в [5]. Визначено такі переваги, як здатність до самоорганізації, стійкість до основних спотворень, гнучкість налаштування, висока швидкодія.

Суміжну проблему зачіпають системи розпізнавання облич для приставок розумного телебачення [6]. Слід одразу зазначити, що вони вирішують дещо специфічне завдання впізнавання облич членів родини, визначення їх реакції на програми, що на цей момент транслуються, за виразом обличчя. Така система передбачає стійкість до поворотів облич, умов поганого освітлення та інших проблем. Усі ці особливості роблять подібні системи дуже складними та ресурсоемними. Тому зазвичай сама приставка виконує лише збір та початкове оброблення візуальної інформації про глядачів. А складніші операції виконуються вже на віддаленому сервері. Цікавими є методи боротьби з пошкодженнями зображення, викривленнями та шумами.

Математичний пакет Matlab містить спеціалізовану бібліотеку для моделювання штучних нейронних мереж Neural Network Toolbox (NNtool) [7]. Це дозволяє моделювати та тестувати різноманітні нейронні мережі різної складності та налаштувань з використанням реальних або спеціально підібраних даних.

**Математичне та комп'ютерне моделювання роботи штучної нейронної мережі.**

З метою перевірки можливості побудови штучної нейронної мережі одержано вирази в загальному вигляді для оцінювання якості навчання спрощеної математичної моделі. Ця модель розрахована для мережі, що містить один штучний нейрон. Сума добутків вагових коефіцієнтів та входів нейрона розраховується за формулою (1).

$$NET = o_1 * w_1 + o_2 * w_2 + \dots + o_n * w_n = \sum_1^n o_i * w_i, \tag{1}$$

де  $o_i$  – і-тий елемент вхідного образу,  $w_i$  – і-тий елемент матриці вагових коефіцієнтів.

У межах цього розрахунку розглядалися симетрична та зміщена сигмоїдальні активаційні функції, вирази (2) та (3), а також гіперболічний тангенс, вираз (4).

$$OUT_1 = F(NET) = \frac{1 - e^{-NET}}{1 + e^{-NET}}, \tag{2}$$

$$OUT_2 = F(NET) = \frac{1}{1 + e^{-NET}}, \tag{3}$$

$$OUT_3 = F(NET) = \frac{e^{NET} - e^{-NET}}{e^{NET} + e^{-NET}}. \tag{4}$$

З метою оцінювання якості навчання мережі введено параметр  $\delta$  – відхилення виходу мережі від бажаного значення (одиниці). Виконавши певні операції зі співвідношеннями (1–4), одержано вирази в загальному вигляді для кожної з активаційних функцій (формули (5–7)).

$$\delta_1 = 1 - \frac{1 - e^{-\sum_1^n o_i * w_i}}{1 + e^{-\sum_1^n o_i * w_i}}, \tag{5}$$

$$\delta_2 = 1 - \frac{1}{1 + e^{-\sum_1^n o_i * w_i}}, \tag{6}$$

$$\delta_3 = 1 - \frac{e^{\sum_1^n o_i * w_i} - e^{-\sum_1^n o_i * w_i}}{e^{\sum_1^n o_i * w_i} + e^{-\sum_1^n o_i * w_i}}. \tag{7}$$

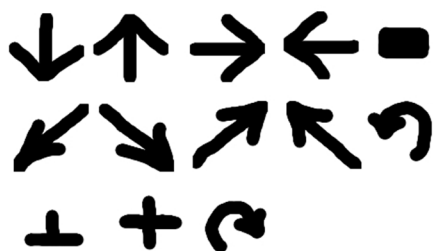


Рис. 1. Система команд

З метою дослідження особливостей та відмінностей між різними типами функцій навчання нейронних мереж побудовано Matlab-модель системи розпізнавання для базової системи команд роботизованої платформи. Така система команд містить тринадцять команд, зображених на рис. 1. Для моделювання було створено тринадцять окремих графічних файлів для кожної команди по одному відповідно, розміром 80 на 80 пікселів, що відповідає розміру реального зображення з камери. Всі вони входять у навчальну послідовність як вхідні дані нейромережі, вихідною буде діагональна матриця розмірністю 13 на 13, усі елементи головної діагоналі якої одиниці.

Попереднє оброблення цих зображень зводилось до вичитування з окремих файлів, переведення їх у виключно чорний та білий кольори, переформатування та склеювання в єдину навчальну матрицю.

З метою перевірки якості розпізнавання створено декілька умисно пошкоджених образів деяких команд, що наведені на рис. 2.



Рис. 2. Умисно пошкоджені команди

Було виконано моделювання для декількох різних функцій навчання нейронної мережі. Як тестові обрано такі функції: `traingdx`, `traingda`, `traingdm`, `traingd`, оскільки інші призводили до дещо нестабільної роботи мережі. На рис. 3 наведено структуру, яка створена в NNtool нейромережі. На рис. 4–5 позначено відповідно суцільною лінією, штриховою лінією, крапками, штрихпунктиром.

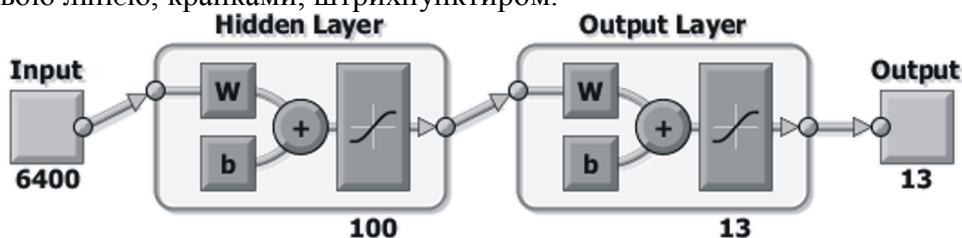


Рис. 3. Структура нейронної мережі, створена в NNtool

Порівняння проводилось за такими параметрами: кількість тактів роботи мережі, що витрачено на навчання, час навчання, градієнт. Побудовано криві, що характеризують вплив на ці параметри кількості нейронів в мережі. На рис. 4 наведено зв'язки кількості ітерацій та нейронів. Як бачимо з рисунка, найкращими є криві для методів навчання `traingdx` та `traingda`. Інші методи демонструють високу нестабільність результатів.

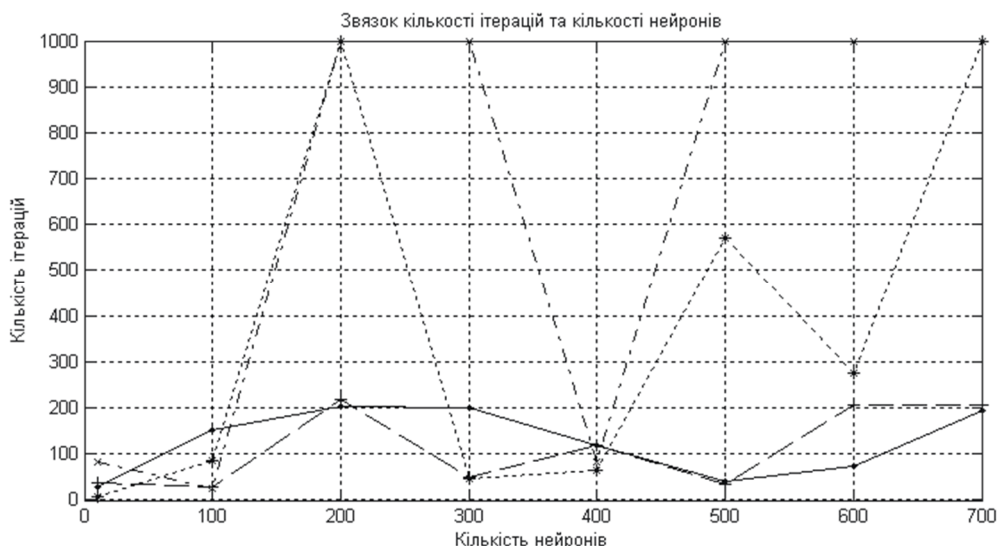


Рис. 4. Зв'язок кількості нейронів з кількістю ітерацій

На рис. 5 зображено залежність часу навчання від кількості нейронів. Як можна побачити, зі зростанням кількості нейронів час навчання суттєво збільшується.

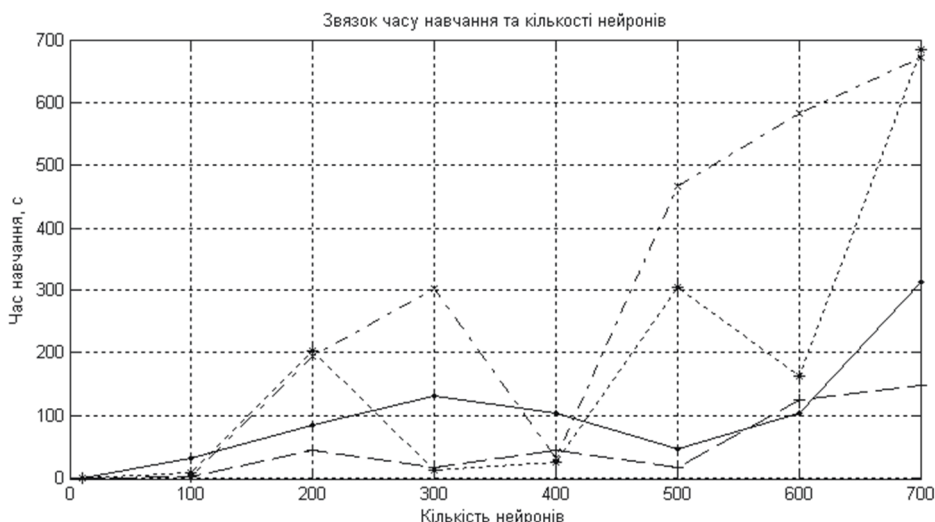


Рис. 5. Зв'язок кількості нейронів з часом навчання

Аналізуючи наведені результати, зроблено декілька висновків. По-перше, кількість нейронів неоднозначно впливає на параметри нейронної мережі. По-друге, збільшуючи кількість нейронів не завжди можна досягти бажаного впливу на якість навчання. По-третє, найкращі результати під час навчання досягаються з використанням методу навчання *trainIdx* для кількості нейронів що не перевищує 700, за даних умов.

Після навчання виконували симуляцію роботи мережі, на вхід якої подавався пошкоджений образ. На виході отримували вектор-стовбець, що містив 13 значень у діапазоні від 0 до 1. Його найближче значення до одиниці округлювали та за номером комірки визначали номер образу, що потрапив на вхід. Для всіх трьох пошкоджених образів їх вдалось визначити. Неокруглене значення, що визначало ступінь подібності вхідного образу до одного з відомих, складало від 0,8 до 0,9 при близьких до нуля інших елементах вектора, що свідчить про високу точність розпізнавання. Також вдалось відносно точно відновити пошкоджений образ.

**Практична реалізація.** У межах практичної реалізації випробувального макета зроблено та виготовлено систему маніпулювання модулем відеокамери *ov7670* у просторі. Система маніпулювання складається з двох сервомоторів, які забезпечують рух камери в вертикальній та горизонтальній площині на кути від 0 до 180 градусів. Система керування та оброблення даних з камери реалізована на стенді *STM32F4 Discovery*. Наведення камери може виконуватися як за допомогою команд від сенсорної клавіатури, так і в автоматичному режимі.

Функціональну схему стенда наведено на рис. 6, де К – камера; ПВ – пристрій введення; СКтО – система керування та оброблення даних; СП – система позиціонування; ПК – персональний комп'ютер.

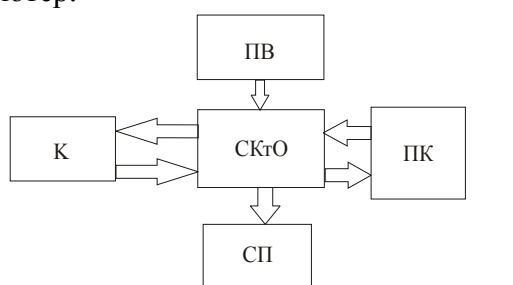


Рис. 6. Функціональна схема стенду

Автоматичний режим дозволяє стенду самостійно сканувати зображення з кроком повороту 30 градусів у вертикальній та горизонтальній площинах. Величина одного

кроку викликана тим, що кут огляду камери становить 30 градусів, а також необхідністю пришвидшити процес.

Після одержання кадру зображення з камери система виконує його пересилання на персональний комп'ютер, використовуючи адаптер RS-232 – USB. Далі одержане зображення потрапляє в Matlab, а саме в workspace у вигляді матриці. Після чого виконується його розпізнавання штучною нейромережею та формування відповідної реакції. З метою підвищення надійності передачі даних зі стенда рекомендується застосувати заводостійку систему передачі даних [8]. Як джерел живлення для сервоприводів доцільно використовувати реверсивний квазірезонансний перетворювач [9], що дасть змогу покращити масогабаритні показники та ККД системи.

**Висновок.** Було проведено моделювання штучної нейронної мережі для різних функцій навчання та інших параметрів. Його результати свідчать про можливість застосування подібної системи з метою розпізнавання образів. Розроблений стенд дозволяє проводити не тільки виключно matlab-моделювання, але й працювати з реальними даними, на які чинять вплив параметри навколишнього середовища.

Завдяки можливостям математичного пакета Matlab розроблений стенд може використовуватися не лише для моделювання штучних нейронних мереж, а й для завдань оброблення й перетворення зображень та інше. Гнучкість роботи самого математичного пакета відкриває широкі можливості для оброблення та аналізу одержаних даних.

Невеликі розміри стенда та організація його живлення від USB-роз'ємів персонального комп'ютера робить можливим також польові дослідження, роботу в різних типах приміщень за різних умов освітленості та прямої видимості. Ці особливості додатково підсилені завдяки можливості повертати камеру на 180 градусів по горизонталі та на кут 90 градусів по вертикалі. Така здатність до руху дозволяє охопити велику площу навколишнього простору без пересування всього стенда.

Можливість наведення камери на об'єкт, що цікавить оператора в ручному та автоматичному режимі, суттєво полегшує роботу. Режим автоматичного огляду навколишнього простору дозволяє установці працювати частково автономно.

Досягнуті результати дозволяють в подальшому реалізувати в повному обсязі частково автономну роботизовану платформу на колесах Ілона.

#### Список використаних джерел

1. *Improved mecanum wheel for omni-directional robots* / Olaf Diegel, Aparna Badve. – Institute of technology and Engineering, Massey University, Auckland 2002. – 141 p.
2. *Уоссермен Ф.* Нейрокомпьютерная техника: Теория и практика / Ф. Уоссермен. – М. : Мир, 1992. – 184 с.
3. *Object Recognition and Localization: The Role of Tactile Sensors* / Achint Aggarwal, and Frank Kirchner. – Sensors 2014, 14, 3227–3266.
4. *Тассов К. Л.* Применение искусственной нейронной сети неокогнитрон для распознавания государственных регистрационных знаков / К. Л. Тассов // Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана. Сер. «Приборостроение». – 2012. Спец. выпуск 2 : Программная инженерия. – С. 189–199.
5. *Сова А. А.* Математическая модель распознавания и обучения неокогнитрона / А. А. Сова, О. И. Федяев // Информатика и компьютерные технологии : VII Международная научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых научных работников. – Донецк, 2011. – С. 164–168.
6. *Face Recognition System for Set-Top Box-Based Intelligent TV* / Won Oh Lee, Yeong Gon Kim, Hyung Gil Hong and Kang Ryoung Park. – Sensors 2014, 14, 21726–21749.
7. *Neural network toolbox* [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.mathworks.com/help/nnet/index.html>.
8. *Леміш С. В.* Заводостійка система передачі даних для силового перетворювача / С. В. Леміш, О. О. Гусев, А. С. Ревко // Вісник Чернігівського державного технологічного університету : збірник. – Чернігів : ЧДТУ, 2013. – № 1 (63). – С. 192–199.

9. Денисов Ю. О. Реверсивный квазирезонансный импульсный преобразователь с цифровой системой управления / Ю. О. Денисов, А. С. Ревко // Технічна електродинаміка, тематичний випуск. Силова електроніка та енергоефективність. – 2005. – Ч. 4. – С. 50–53.

**Ревко Анатолій Сергійович** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри промислової електроніки, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 92, м. Чернігів, 14027, Україна).

**Ревко Анатолій Сергеевич** – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры промышленной электроники, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 92, г. Чернигов, 14027, Украина).

**Revko Anatolii** – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of Industrial Electronic Department, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** gudrunas.ch@gmail.com

**Фесенко Артем Петрович** – магістр, кафедра промислової електроніки, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 92, м. Чернігів, 14027, Україна).

**Фесенко Артём Петрович** – магистр, кафедра промышленной электроники, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 92, г. Чернигов, 14027, Украина).

**Fesenko Artem** – master, Industrial Electronic Department, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** asr@inel.stu.cn.ua, gudrunas.ch@gmail.com

УДК 528.48

*Тетяна Малік, Всеволод Бурачек, Ярослав Брик*

## МЕТОД АВТОМАТИЧНОГО ГЕОДЕЗИЧНОГО СУЦІЛЬНОГО КОНТРОЛЮ ДЕФОРМАЦІЙ ІНЖЕНЕРНИХ СПОРУД

*Татьяна Малик, Всеволод Бурачек, Ярослав Брик*

## МЕТОД АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО СПЛОШНОГО КОНТРОЛЯ ДЕФОРМАЦИЙ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ

*Tetiana Malik, Vsevolod Burachek, Yaroslav Bryk*

## METHOD AUTOMATIC GEODETIC TOTAL CONTROL DEFORMATION OF ENGINEERING STRUCTURES

*Розглянуто метод автоматичного геодезичного суцільного контролю деформацій інженерних споруд, в основі якого лежить спосіб побудови оптико-електронної створної лінії на основі фотоелектричного ланцюга деформаційних марок. Результатом запропонованого методу контролю деформацій інженерних споруд є підвищення точності вимірювання деформацій і суцільне охоплення контрольними вимірюваннями всього об'єму інженерної споруди, включаючи всі внутрішні конструкції, а також підвищення оперативності контролю деформацій.*

**Ключові слова:** автоматичний контроль деформацій споруд, створна лінія.

*Рис.: 5. Бібл.: 14.*

*Рассмотрено метод автоматического геодезического сплошного контроля деформаций инженерных сооружений, основой которого является способ построения оптико-электронной створной линии, базирующейся на фотоэлектрической цепи деформационных марок. Результатом предложенного метода контроля деформаций инженерных сооружений является повышение точности измерений деформаций и сплошной охват контрольными измерениями всего объема инженерного сооружения, включая все внутренние конструкции, а также повышение оперативности контроля деформаций.*

**Ключевые слова:** автоматический контроль деформаций сооружений, створная линия.

*Рис.: 5. Библ.: 14.*

*This article includes method automatical continuous geodetic deformation of engineering structures based on a method of constructing the line of alignment based on the photoelectric circuit expansion marks. The result of the proposed method for monitoring deformation in engineering structures is to increase the accuracy of measurements of deformations and continuous coverage of the control measurements of the continuous cover of engineering construction, including all internal structures, as well as increasing the efficiency of control deformations.*

**Key words:** automatical control deformation structures, clearing line.

*Fig.: 5. Bibl.: 14.*

**Огляд попередніх публікацій і постановка проблеми.** Відомі традиційні способи й засоби визначення деформацій споруд, у тому числі створні, створно-оптичні, струнні, струнно-оптичні [1; 12], високоточне інженерно-геодезичне нівелювання [6], а також способи геодезичної засічки [6]. Основними недоліками цих способів є великий об'єм ручної праці, відсутність оперативності контролю. Також на сьогодні в Україні і