

ІНЖИНІРИНГ ДАНИХ ДЛЯ ПЕРСПЕКТИВНОЇ ВЕГЕТАЦІЙНОЇ ІНДЕКСАЦІЇ ЛИСТКОВОЇ ДІАГНОСТИКИ НА ОСНОВІ HSL МОДЕЛІ КОЛЬОРОУТВОРЕННЯ

Н. А. Пасічник, кандидат технічних наук, доцент

О. О. Опришко, кандидат технічних наук, доцент

С. А. Шворов, доктор технічних наук, професор

І. Т. Цигульов, кандидат технічних наук, доцент

А. А. Кармацьких, студентка

Національний університет біоресурсів і природокористування України

E-mail: n.pasichnyk@nubip.edu.ua

Анотація. Робота присвячена імплементації традиційних технологій візуального моніторингу рослин в технології точного землеробства, а саме, вдосконалення дистанційного моніторингу за допомогою БПЛА стосовно маркерних вегетаційних індексів. Класичні вегетаційні індекси, такі як NDVI, використовуються для вирішення обмеженого кола задач і при диференційованій обробці ділянок поля застосовуються передусім для коригування кількості азотних добрив. Такі індекси погано пристосовані для ідентифікації причин стресу. Для стресів технологічного характеру, зокрема на посівах ріпаку озимого застосовують маркерні індекси, які складно налаштовувати на ідентифікацію аномального забарвлення вражених рослин. До того ж такі індекси вразливі до змін освітлення і потребують заходів щодо атмосферної корекції. Метою роботи є формування нового підходу до автоматизації візуальної діагностики рослин, який базується на адаптації технологій машинного зору до існуючих технологій неконтактної експертної оцінки рослин. Висунуто гіпотезу про можливість створення вегетаційних індексів на основі альтернативної моделі кольороутворення HSL, які будуть більш стійкими до змін освітлення.

Ключові слова: моніторинг, БПЛА, маркерні індекси, HSL, NDVI

Актуальність. Технології точного землеробства активно впроваджуються в аграрні практики в індустріально розвинених країнах. Обов'язковою компонентою в реалізації таких технологій є дистанційний моніторинг, що здійснюється через використання супутників і літальних роботів (БПЛА). Попри значні успіхи щодо визначення загального стану рослинних насаджень, які було реалізовано через використання таких вегетаційних індексів, як NDVI, інтерпретація результатів

вимірювань залишається проблемною. Виникає протиріччя, коли, з одного боку, візуальна діагностика рослин є класичною для агрономів, як це показано в оглядових роботах Volker Römheld (2012) в [1], V.V.Roshchina та інші (2007) в [2] та Ajay Kumar Gautam та інші (2020) в [3], з іншого, попри стрімкий розвиток пристроїв технічного зору, останнім часом їх застосування в аграрних практиках є вкрай обмеженими. Однією з основних причин такої ситуації є незручність сприйняття інформації фахівцями з агрономії, яким в свою чергу важко в технічних термінах викласти свій досвід для подальшої автоматизації цих процесів. Потреба в цьому стала нагальною оскільки спостерігається одночасно явища природнього характеру по зміні клімату та суто економічні проблеми обумовлені зростанням ціни нафти та газу і відповідно їх похідних. Інтенсифікація виробництва за рахунок кратного збільшення кількості висококваліфікованих фахівців неможлива при тренді на стрімку урбанізацію. Впровадження БПЛА в практики листової діагностики, на відміну традиційних рішень, дозволить оперативно обстежувати поля в промислових масштабах, але потрібні нові підходи щодо інжинірингу даних, сприйняття інформації фахівцями та полегшення ідентифікації образів дослідних об'єктів.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Нині технології спектрального моніторингу для управління врожаєм через використання технологій розпізнавання образу об'єктів поділяються на технології машинного навчання та вегетаційні індекси. Технології машинного навчання дозволяють ідентифікувати хвороби рослин за фотознімками P.Neelakantan, (2021) в [4], адаптувати підживлення рослин під потреби окремих угруповань рослин, як показано в роботі Zhengchao Qiu (2021) в [5]. Машинне навчання потребує великої вибірки даних для навчання системи, як показано в роботі James W.Clohesy (2021) в [6], що складно забезпечити безпосередньо в виробничих умовах господарства.

Мультиспектральні дослідження для створення вегетаційних індексів є найбільш розповсюдженими в практиці й реалізовані на супутникових- та БПЛА-платформах. Попри значний досвід використанням вегетаційних індексів з 1979 року, нині вирішують обмежене коло питань – від оцінки перспектив врожаю до

управління азотним живленням, як показано в роботах F.R.da & S. Pereira (2022) [7], S.Shvorov (2020) [8] відповідно. Такі технології зручні, коли наявні окремі інформативні канали з високою вибірковістю, на чому і побудовано переважну більшість класичних вегетаційних індексів. Попри широке впровадження в наземних платформах, таких як GreenSeeker (США), CropSpec (Японія), Yara N-Sensor та у спеціалізованих спектральних комплексах для БПЛА, а саме спектральне обладнання, що фіксує відбите сонячне випромінювання, потребує атмосферної корекції. Це питання для традиційних вегетаційних індексів є критично важливим, для чого за даними Hongtao Cao (2021) [9] використовуються спеціальні зенітні сенсори, рефлекторні панелі. N.A.Pasichnyk (2021) та інші в [10] показали можливість використання службових даних знімків (штатний експонетр). Такі методичні рішення кардинально ускладнюють систему, а у випадках змінної хмарності вносять до результатів досліджень неприйнятні похибки. З іншого боку, ефективна візуальна діагностика рослин для фахівця-аграрія цілком можлива безпосередньо в польових умовах і не потребує стабілізації освітлення. На думку авторів, поясненням цьому є відмінність обробки інформації в людського ока сенсорів зображення. Зір людини має більш складну будову і два типи фоторецепторів, а саме – для монохромного сутінкового зору використовуються палички, за яскравого світла працюють ще колбочки, завдяки чому розрізняються кольори. Авторами було висунуто *гіпотезу* про можливість створення вегетаційних індексів на основі альтернативної моделі кольороутворення, які будуть більш стійкими до змін освітлення. Такі індекси можуть використовуватись, зокрема, для створення маркерних індексів, заснованих на аномальному забарвленні частин рослин, прикладом чого можуть бути аномально зафарбовані листки ріпаку озимого, як показано в роботі M.Dolia (2019) [11]. Прикладом альтернативної колірної моделі є HSL. Альтернативні простори (HSV, HSL та HSI) використовувались в роботі Rong-Hui Miao (2015) [12] для класифікації сільськогосподарських об'єктів. Автори використовували порогові значення, що виявилось простіше за традиційні вегетаційні індекси, такі як ExG для ідентифікації рослин, які показані в роботі Yongcai Zhou (2021) [13]. До переваг альтернативних кольорових просторів можна

віднеси і меншу чутливість до змін освітлення, що було використано в роботі A.Movia (2016) [14] для видалення тіні на знімках, отриманих за допомогою БПЛА. У літературному пошуку з використанням міжнародного сервісу пошуку наукової інформації <https://www.sciencedirect.com> автори виявили лише один вегетаційний індекс NSVDI, створений на базі моделі HSL, описаної в роботі Genyun Sun (2019) [15], який призначений для оцінювання ділянки в тіні для супутникових знімків.

Мета дослідження – формування нового підходу до автоматизації візуальної діагностики рослин, який базується на адаптації технологій машинного зору до існуючих технологій неконтактної *експертної* оцінки рослин.

Матеріали та методи дослідження. Спектральні параметри дослідних об'єктів визначали із використанням фотокамери FC200 – штатного обладнання квадрокоптеру DJI Phantom 2+. Параметри налагодження цифрової фотокамери в дослідженнях: Aperture Value – 2.8; Light Source – Fine Weather. Для оцінки впливу зміни освітлення під час фотозйомки змінювали корекцію експозиції (EV), що для БПЛА можна було виконати дистанційно. Окрім дослідних ділянок пшениці озимої фіксували ділянки обробленого ґрунту. Дослідження щодо змін освітлення проводили в квітні-травні 2021 року на виробничих агрофітоценозах (координати дослідного поля 50°16' N, 30°58'E). Для розробки вегетаційних індексів на базі кольорової моделі HSL для стресів технологічного характеру на ріпаку озимому використовували архівні знімки 2019 року, отримані від аналогічного обладнання в тому самому господарстві. Цифрову обробку графічних даних формату jpeg проводили в програмному середовищі MathCAD (version 14.0.0.163), а статистичну обробку отриманих результатів – в програмному середовищі OriginPro v.8 від OriginLab Corporation. Текст програми в середовищі MathCad для конвертації з RGB в HSL та обчислення розподілу величини колірного тону представлено на рис. 1.

```

HSLper(n,m,R,B,G) := for i ∈ 1..n
                      for j ∈ 1..m
                        hi,j ← 0
                      for i ∈ 1..n
                        for j ∈ 1..m
                          mai,j ← max(Ri,j, Bi,j, Gi,j)
                          mii,j ← min(Ri,j, Bi,j, Gi,j)
                          if mai,j = mii,j
                            hi,j ← 0
                            continue
                          if mai,j = Ri,j ∧ Gi,j ≥ Bi,j
                            hi,j ← 60 ·  $\left[ \frac{(G_{i,j} - B_{i,j})}{(ma_{i,j} - mi_{i,j})} \right] + 0$ 
                            continue
                          if mai,j = Ri,j ∧ Gi,j < Bi,j
                            hi,j ← 60 ·  $\left[ \frac{(G_{i,j} - B_{i,j})}{(ma_{i,j} - mi_{i,j})} \right] + 360$ 
                            continue
                          if mai,j = Gi,j
                            hi,j ← 60 ·  $\left[ \frac{(B_{i,j} - R_{i,j})}{(ma_{i,j} - mi_{i,j})} \right] + 120$ 
                            continue
                          if mai,j = Bi,j
                            hi,j ← 60 ·  $\left[ \frac{(R_{i,j} - G_{i,j})}{(ma_{i,j} - mi_{i,j})} \right] + 240$ 
                            continue
                        h
Hh := HSLper(n2,m2,r1,b1,g1)
t1 := 0..360
GIS1(n1,m1,Hh) := for t1 ∈ 0..360
                  kt1 ← 0
                  for i ∈ 1..n1
                    for j ∈ 1..m1
                      kt1 ← kt1 + 1 if Hhi,j = t1
                  z1

```

Рис. 1. Програма в середовищі MathCAD для конвертації даних з моделі RGB в HSL ліворуч та обчислення розподілу величини колірного тону (H) праворуч

Результати досліджень та їх обговорення. Для порівняння *стійкості до змін освітлення* стандартних (RGB) та перспективних маркерних (HSL) вегетаційних індексів було проведено дослідження на посівах пшениці озимої, як найбільш традиційної культури для диференційованого підживлення в нашій країні. Ділянки ріллі були вибрані в якості рефlectorних панелей, оскільки можливість використання штучних панелей для атмосферної корекції за дистанційного оптичного моніторингу в промислових масштабах вкрай обмежена з організаційних та технічних причин. Рівень освітленості оцінювали на основі показників світла (Light Value), отриманого зі службових даних знімку шляхом використання он-лайн сервісу <https://www.imgonline.com.ua/>. Фотознімки дослідних ділянок подано на рис. 2.

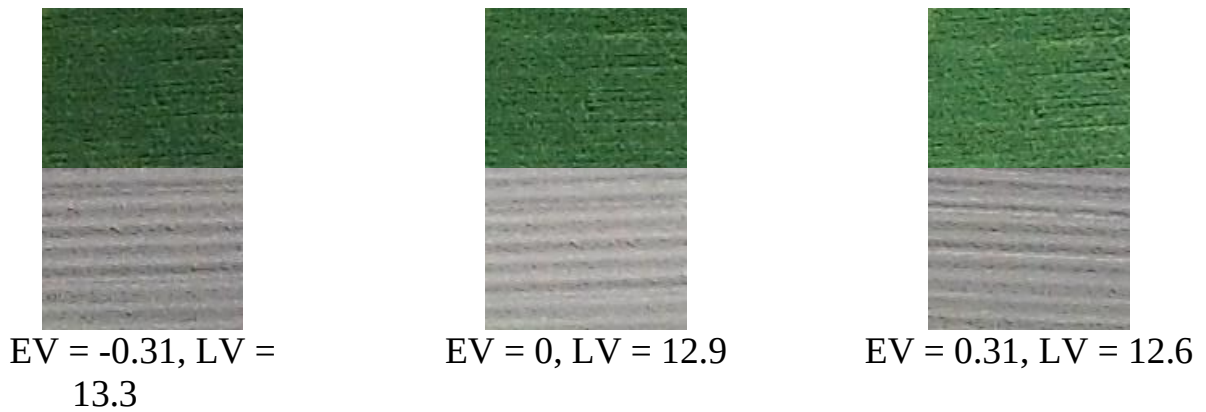


Рис. 2. Фотознімки дослідних ділянок посівів пшениці (зверху) та ріллі (знизу) із відповідними значеннями корекції експозиції (EV) та значення світла (LV)

Залежність кількості пікселів від інтенсивності складової кольору за червоним каналом подано на рис. 3.

Апроксимація залежностей (рис.3) рівняннями нормального розподілу встановила, що максимуми розподілів за червоною складовою спектру з експокорекцією -0.31, 0 та 0.31 були рівними для пшениці 46, 57, 72 та ріллі 146, 150, 170 відповідно. Якщо для пшениці, за відсутності корекції експозиції, величина інтенсивності складової кольору для максимуму розподілу приблизно відповідає середньому значенню між величинами, отриманими для позитивної та негативної рівнозначної корекції, то для ріллі ситуація інша – максимум змістився.

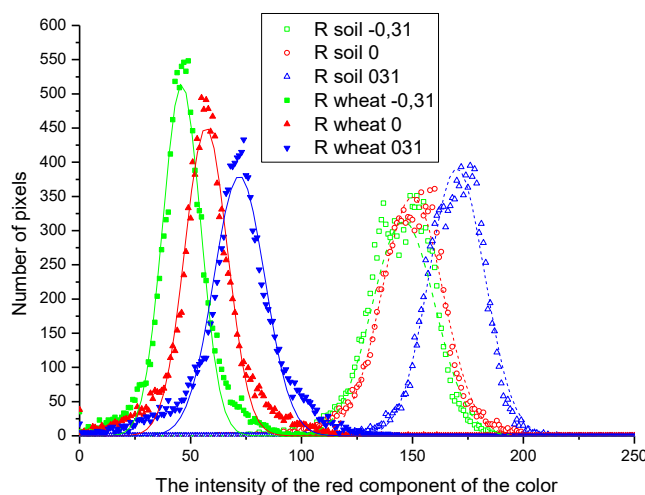


Рис. 3. Залежність кількості пікселів від інтенсивності червоної складової кольору для ріллі та пшениці

Тобто, використання ріллі як рефлекторної панелі може бути пов'язано зі значними похибками за атмосферної корекції для традиційних вегетаційних індексів.

На рис. 4 наведено результат обробки тих самих даних для пшениці в колірному просторі HSL.

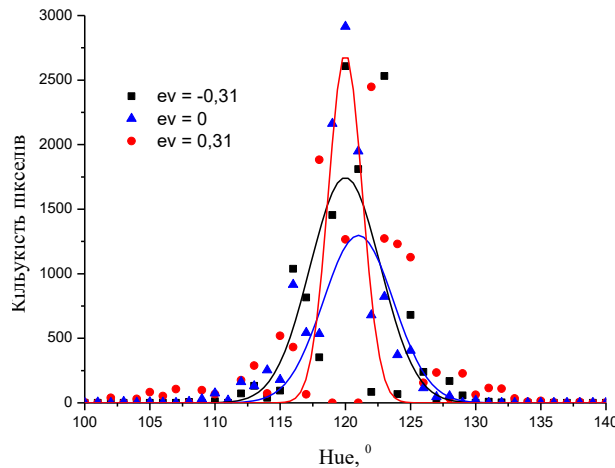


Рис. 4. Залежність кількості пікселів від колірного тону (Hue) для пшениці за різних значень корекції експозиції (EV)

На відміну від кольорової моделі RGB для HSL корекція експозиції практично не вплинула на максимум розподілу колірного тону і становила 120-121°. Тобто стійкість до змін освітлення для індексів, побудованих на альтернативній моделі HSL, є вищою.

Маркерні вегетаційні індекси засновані на фіксації аномального червоного забарвлення нижніх листків ріпаку озимого в період утворення листової розетки в наслідок стресів технологічного характеру. За своєчасної ідентифікації причини стресу можна провести ефективні реанімаційні заходи і зменшити втрати врожаю. Специфікою дистанційного моніторингу в цей час є фіксація в межах кадру як нормального, так і з аномальним забарвленням листя червоного кольору, а також ґрунту оскільки рослини порівняно не великі за габаритами. На рис. 5 подано графічні залежності кількості пікселів від інтенсивності складових кольору для таких об'єктів.

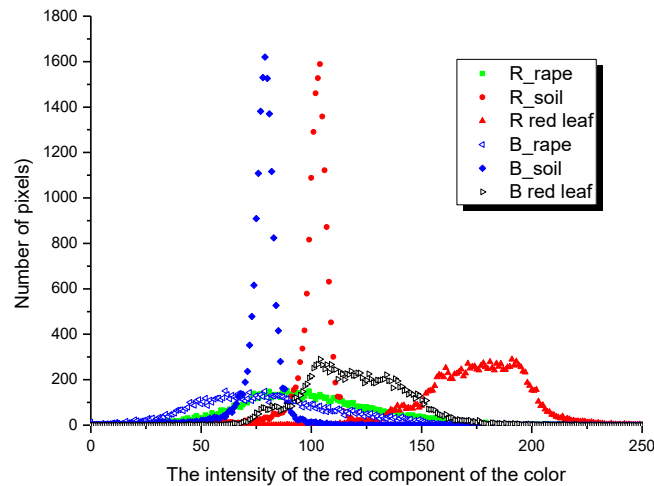


Рис. 5. Залежність кількості пікселів від інтенсивності червоної (R) та синьої (B) складової кольору для ріпаку (rape), ґрунту (soil) та червоного листя (red leaf)

Аналіз залежностей (рис. 6) не дозволив виявити діапазон зміни інтенсивностей складових кольору для достовірної ідентифікації станів об'єктів. Аналогічні показники було отримано для зеленого каналу. Можливим варіантом для вирішення є по-піксельна фільтрація, коли об'єкт ідентифікується одночасно за кількома складовими кольору. Проте врахування регіональної специфіки господарства щодо ґрунтів та номенклатури сортів рослин може бути занадто складним завданням для місцевих фахівців. Окрім червоного, у вражених рослин можливі й інші кольори – сірі, жовто-бурі, лілові та інші. У наших дослідженнях переважаючими аномальними кольорами були кольори в жовто-червоних відтінках.

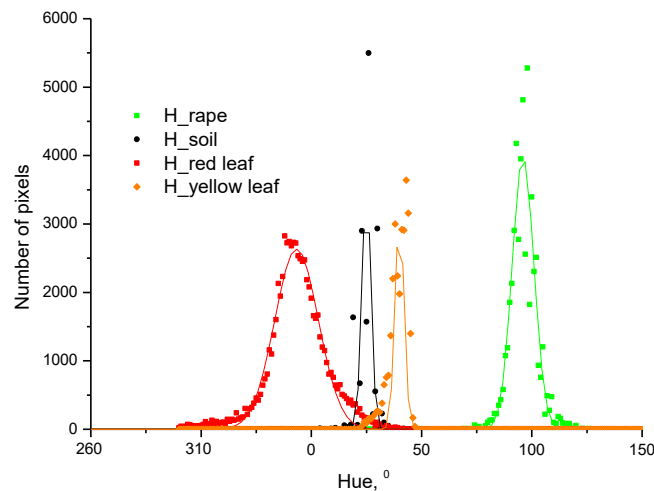


Рис. 6. Залежності кількості пікселів від колірної тону (Hue) для ріпаку (rape), ґрунту (soil), червоного та жовтого листя (red та yellow leaf)

Таким чином, для виробничих господарств кольоровий простір HSL має переваги – маркерні індекси налагоджуються простіше із урахуванням місцевої специфіки щодо забарвлення листків рослин.

Висновки та перспективи. Встановлено, що:

- кольоровий простір HSL є придатним для створення маркерних вегетаційних індексів;
- використання для ідентифікації об'єктів простору HSL забезпечує високу стабільність показників щодо впливу змін освітлення на результати моніторингу;
- маркерні індекси в кольоровому просторі HSL налагоджуються простіше із врахуванням місцевої специфіки забарвлення листків.

References

1. Volker Römheld (2012). Chapter 11 - Diagnosis of Deficiency and Toxicity of Nutrients. Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants (Third Edition), 299-312, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384905-2.00011-X>.
2. Roshchina, V. V., Narwai, S. S. (2007). Cell diagnostics: images, biophysical and biochemical processes in allelopathy. New Hampshire [etc.]: Science Publishers, 203.
3. Ajay Kumar Gautam, Shashank Kumar (2020). Chapter 12. Techniques for the Detection, Identification, and Diagnosis of Agricultural Pathogens and Diseases. Natural Remedies for Pest, Disease and Weed Control, Elsevier, 135-142, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819304-4.00012-9>.
4. P. Neelakantan (2021) Analyzing the best machine learning algorithm for plant disease classification. Materials Today: Proceedings, Elsevier.
5. Zhengchao Qiu, Fei Ma, Zhenwang Li, Xuebin Xu, Haixiao Ge, Changwen Du (2021). Estimation of nitrogen nutrition index in rice from UAV RGB images coupled with machine learning algorithms, Computers and Electronics in Agriculture, 189, 106421, <https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106421>.
6. James W. Clohessy, Fei Ma, Zhenwang Li, Xuebin Xu, Haixiao Ge, Changwen Du (2021). Development of a high-throughput plant disease symptom severity assessment tool using machine learning image analysis and integrated geolocation. Computers and Electronics in Agriculture, 184, 106089.
7. F.R.da S. Pereira, J.P. de Lima, R.G. Freitas, A.A. Dos Reis, L.R.do Amaral, G.K.D.A. Figueiredo, R.A.C. Lamparelli, P.S.G. Magalhães (2022). Nitrogen variability assessment of pasture fields under an integrated crop-livestock system using UAV, PlanetScope, and Sentinel-2 data. Computers and Electronics in Agriculture, 193, 106645, <https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106645>.
8. Shvorov S. Lysenko V. Pasichnyk N. Lukin V. Martsyfei A. (2020). The method of determining the amount of yield based on the results of remote sensing obtained using UAV on the example of wheat. Proceedings - 15th International Conference on Advanced

Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering, TCSET 2020, 245-248, 9088648.

9. Hongtao Cao, Xingfa Gu, Yuan Sun, Hailiang Gao, Zui Tao, Shuaiyi Shi (2021). Comparing, validating and improving the performance of reflectance obtention method for UAV-Remote sensing. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 102, 102391.

10. N. A. Pasichnyk, D. S. Komarchuk, O. A. Opryshko, S. A. Shvorov, N. A. Kiktev (2021). Methodology for Software Assessment of the Conformity of Atmospheric Correction from the UAV's Zenith Sensor. 2021 IEEE 6th International Conference on Actual Problems of Unmanned Aerial Vehicles Development (APUAVD), 1-5.

11. M. Dolia, V. Lysenko, N. Pasichnyk, O. Opryshko, D. Komarchuk, V. Miroshnyk, T. Lendiel, A. Martsyfei (2019). Information Technology for Remote Evaluation of After Effects of Residues of Herbicides on Winter Crop Rape. 2019 3rd International Conference on Advanced Information and Communications Technologies (AICT), 469-473.

12. Rong-Hui Miao, Jing-Lei Tang, Xiao-Qian Chen (2015). Classification of farmland images based on color features. Journal of Visual Communication and Image Representation, 29, 138-146.

13. Yongcai Zhou, Congcong Lao, Yalong Yang, Zhitao Zhang, Haiying Chen, Yinwen Chen, Junying Chen, Jifeng Ning, Ning Yang (2021). Diagnosis of winter-wheat water stress based on UAV-borne multispectral image texture and vegetation indices. Agricultural Water Management, 256, 107076;

14. A. Movia, A. Beinat, F. Crosilla (2016). Shadow detection and removal in RGB VHR images for land use unsupervised classification. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 119, 485-495.

15. Genyun Sun, Hui Huang, Qihao Weng, Aizhu Zhang, Xiuping Jia, Jinchang Ren, Lin Sun, Xiaolin Chen (2019). Combinational shadow index for building shadow extraction in urban areas from Sentinel-2A MSI imagery. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 78, 53.

DATA ENGINEERING FOR PROSPECTIVE VEGETATION INDICES OF LEAF DIAGNOSTICS BASED ON HSL COLOR FORMATION MODEL

N.Pasichnyk, O.Opryshko, S.Shvorov, I.Tsygulyov, A.Karmatskykh

Abstract. *The work is devoted to the implementation of traditional technologies of visual monitoring of plants in the technology of precision agriculture, namely the improvement of remote monitoring with the help of UAVs in relation to marker vegetation indices. Classic vegetation indices such as NDVI are used to solve a limited range of problems and are used primarily to adjust the amount of nitrogen fertilizers during differentiated treatment of field areas. Such indices are poorly adapted to identify the causes of stress. For stresses of a technological nature, in particular, on winter rapeseed crops, marker indices are used, which are difficult to adjust to identify abnormal coloration of affected plants. In addition, such indices are sensitive to changes in lighting and require atmospheric correction measures. The purpose of the work is the formation of a new approach to the automation of visual diagnostics of plants, which is based on the*

adaptation of machine vision technologies to the existing technologies of noncontact expert assessment of plants. A hypothesis was put forward about the possibility of creating vegetation indices based on an alternative model of HSL coloration, which would be more resistant to changes in illumination.

Key words: *monitoring, UAV, marker indices, HSL, NDVI*