АНОТАЦІЯ

Єфименко Сергій Андрійович. **Колориметричний метод та засіб для експрес-контролю якості зернових культур.** – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка». – Харківський Національний університет радіоелектроніки, Харків, 2021.

Зміст анотації. Дисертаційна робота присвячена удосконаленню методів параметричного контролю якості зернових культур за рахунок зниження випадкового факторного впливу при визначенні результату вимірювання одиничного показника колориметричного контролю (жовтизни зерна пшениці), що є важливим науковим і практичним завданням. Другим завданням дисертаційної роботи є створення засобу колориметричного експрес-контролю якості зернових культур.

Мета дослідження – удосконалення методів і створення технічного засобу для колориметричного експрес-контролю якості зернових культур, підвищення точності та вірогідності отриманих результатів за рахунок використання методів статистичного аналізу результатів вимірювань.

Практична значущість результатів дослідження полягає у тому, що:

1. Розроблено макет приладу для експрес-контролю кольору, запропоновано алгоритм розрахунків координат кольору і отримано їх у цифровому вигляді, а також у вигляді фрагменту кольору на екрані монітора, що дозволяє швидко та з достатньо високою достовірністю отримувати результати вимірювань кольору досліджуваних середовищ.

2. У ТОВ «НВП АЛЬТА» результати роботи використовуються при підборі настройок RGB-камер фотосепараторів для сортування різних сільгоспкультур (пшениця, ячмінь, гречка, соняшник, соя та ін.) (акт від 20.12.2019 р.).

3. На кафедрі фізики ХНУРЕ результати роботи впроваджені, в навчальний процес, де використовуються під час читання лекцій, проведення практичних та

лабораторних робіт по геометричній та хвильовій оптиці за спеціальністю «видавничо-поліграфічна справа» (акт від 09.01.2019 р.).

Наукова новизна одержаних результатів полягає в тому, що:

– отримав подальший розвиток метод інформаційного аналізу системи показників колориметричного контролю якості зернових культур, що дозволив формувати систему показників в умовах невизначеності відтворення рівнів параметрів, що контролюються;

– введено поняття колориметричної функції, як узагальнюючої характеристики інтенсивності випромінювання відбитого і розсіяного випромінювання досліджуваних об’єктів, показана можливість використання розроблених аналітичних методів при дослідженні оптичного випромінювання як в часовій так і в частотній областях;

– отримані математичні моделі перехресних класифікацій, що враховують ефекти одночасної взаємодії трьох факторів (температури, вологості, освітленості) на результат вимірювання одиничного показника колориметричного контролю (жовтизна зерна пшениці), визначені рівняння для оцінювання достовірності статистичних висновків про інформаційну значимість показників колориметричного контролю;

– запропоновані аналітичні співвідношення, що дають змогу оцінити кількість інформації для кожного з показників колориметричного контролю при факторному впливі на лінійну функцію перетворення цих показників.

У вступі дисертації обґрунтовано актуальність теми дослідження, сформульовано мету, завдання, об’єкт, предмет, розкрито наукову новизну, практичну значущість одержаних результатів, визначено особистий внесок автора, наведено дані стосовно апробації та впровадження в практику результатів дослідження, представлені етапи дослідження, надано кількість публікацій за темою роботи.

У першому розділі дисертаційної роботи «**Сучасний стан методів та засобів колориметрії. Вибір напрямку досліджень**» проаналізовано наукові праці вітчизняних і зарубіжних авторів з питань проблеми дослідження, що дозволило

визначити основні напрями наукового пошуку щодо проблеми удосконалення методів і створення технічного засобу для колориметричного експрес-контролю якості зернових культур. Визначено важливість застосування колориметричного методу експрес-контролю для оцінювання якості зерна пшениці, невизначеність характеристик якої впливає на точність отримання вимірювальної інформації, та методів багатомірного статистичного аналізу для визначення наскільки істотний вплив того або іншого фактору на розсіювання результатів спостережень вихідної величини.

У другому розділі «**Розробка та використання математичних моделей лінійних систем для побудови датчиків кольору**» описані методи та засоби, які використовувались відповідно до поставленої мети і завдань, а також об'єкту та предмету дослідження. Розглянуто можливість застосування математичних моделей лінійних систем для побудови датчиків кольору та сформульовані принципи синтезу пристроїв автоматичної класифікації колірних відтінків. Доведено можливість використання поняття колориметричної функції в прикладних дослідженнях.

У третьому розділі «**Розробка цифрових пристроїв для вирішення задач оптичного контролю**» представлено результати аналізу існуючих варіантів побудови цифрових датчиків і цифрових пристроїв для вирішення задач оптичного контролю та варіанти їх вдосконалення. Наведено опис розроблених автором корисних моделей, що захищені патентами України які враховують недоліки прототипів, а також усувають їх. Отримано аналітичне співвідношення, за яким можна однозначно визначити ступінь проникності оптичного середовища у випадку забарвлення світлового потоку.

У четвертому розділі «**Аналіз впливу невизначеності результатів вимірювань на вірогідність колориметричного контролю**» представлено обґрунтування та оцінювання достовірності статистичних висновків про інформаційну значимість показників колориметричного контролю, що впливають на результат контролю для забезпечення максимально високої вірогідності отриманого результату. Було проведено аналіз та запропонована спрощена модель

перехресних класифікацій, що враховує ефекти одночасної взаємодії трьох факторів (температури, вологості, освітленості) на результат вимірювання одиничного показника колориметричного контролю (жовтизна зерна пшениці); проведено її дослідження. Визначені обмеження на кількість рівнів основного параметра контролю та факторів, що впливають на результат колориметричного контролю при заданій метрологічній невизначеності параметра контролю. Отримані рівняння для оцінювання достовірності статистичних висновків про інформаційну значимість показників колориметричного контролю для спрощеної моделі перехресної класифікації. Отримані аналітичні співвідношення, що дають змогу оцінити кількість інформації для кожного з показників колориметричного контролю при факторному впливі на лінійну функцію перетворення цих показників. Розглянуті основні положення дискримінантного аналізу та запропоновано моделі для оцінювання кількості інформації по ймовірностям помилок першого та другого роду від параметру контролю; представлені рівняння, що дозволяють ранжирувати показники за зменшенням їх чутливості до зміни рівнів параметра колориметричного контролю.

У п’ятому розділі «**Оцінювання стандартних невизначеностей результатів вимірювань отриманих за допомогою електронного колориметру**» представлено результати проведеного дослідження результатів натурних вимірювань вихідної напруги зі схем каналів червоного, синього та зеленого фотодіодів електронного колориметру залежно від яскравості світлового випромінювання у ході якого було проведено розрахунки стандартних невизначеностей по типам А та В, а також сумарної стандартної невизначеності. Показано, що отримані значення невизначеності цілком задовольняють умовам технічного завдання на дослідження.

Висновки показали, що проведено удосконалення одного з методів параметричного контролю якості зернових культур за рахунок зниження випадкового факторного впливу при визначенні результату вимірювання одиничного показника колориметричного контролю (жовтизни зерна пшениці). Запропонований метод інформаційного аналізу дозволив формувати систему

показників в умовах невизначеності відтворення рівнів параметрів, що контролюються, а створений засіб колориметричного експрес-контролю якості зернових культур дає можливість ефективно вирішувати поставлені завдання.

Ключові слова: невизначеність вимірювань, колориметричний контроль, дисперсійний аналіз, модель впливу, похибка.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації

1. Єфименко С. А., Хорошайло Ю. Є., Сезонова І. К. Электронная колориметрия : монография. Харків : ТОВ «Оберіг», 2020. 176 с.

2. Єфименко С. А. Аналіз впливу невизначеності результатів вимірювань на вірогідність колориметричного контролю. *Метрологія та прилади.* 2020. № 6 (86). С. 52–58.

3. S. Yefymenko, I. Khoroshaylo, V. Shlyahov, A. Kagramanyan Mathematical model of colorimetry. *Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». Серія: Приладобудування.* 2017. Вип. 54 (2). С. 27-32.

4. S. Efimenko, Y. Horoshaylo, V. Shlyahov, S. Sotnik Application of the colour measurement optoelectronic method for quality control of natural gas. *Методи та прилади контролю якості.* 2017. № 2 (39). С. 55–58.

5. Ефименко С. А., Хорошайло Ю. Е., Сезонова И. К. Оптоэлектронный экспресс-контроль качества зерна. *Міжнародний науковий журнал «ІНТЕРНАУКА»*. 2018. № 21 (61). Т. 3. С. 82–87.

6. S.A. Efimenko, Y.E. Horoshaylo, I.N. Yarmak The device for measuring colour *Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Електроенергетика та перетворювальна техніка*. 2018. № 8 (1284). С. 14–17.

7. S. Yefymenko, I. Khoroshaylo, I. Sezonova Mathematical model of color optoelectronic measurement. *Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Інноваційні технології та обладнання обробки матеріалів у машинобудуванні та металургії.* 2018.

№31(1307). С. 95-99.

8. S. Efimenko Y. Horoshajlo, I. Sezonova, V. Chumakov, and G. Levitskaya, "The Possibility of Using the Concept of Colorimetric Functions in Applied Research," ***2019 IEEE 8th International Conference on Advanced Optoelectronics and Lasers (CAOL)***, 2019, pp. 225-227 (doi: 10.1109/CAOL46282.2019.9019456, electronic ISSN: 2160-1534, print on Demand(PoD) ISSN: 2160-1518)

Праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації

9. S. Efimenko, Y. Horoshajlo, L. Golovkina, R. Umyarov. About one of the methods of the surface colors measurement. *27th International scientific symposium «Metrology and metrology assurance 2017» Proceedings of the symposium September 8-12, 2017, Sozopol, Bulgaria.* Sozopol, 2017. P. 96–100.

10. S. Efimenko, Y. Horoshajlo, G. Suchkov, R Umyarov, O. Domrin Optoelectronic methods of reflekted surfaces color control. *28-th International scientific symposium «Metrology and metrology assurance 2018» Proceedings of the symposium September 10-14, 2018, Sozopol, Bulgaria.* Sozopol, 2018. P. 95–98.

11. S. Efimenko, Y. Horoshajlo, G. Suchkov, V. Lymarenko. Estimation of standard determinations of the results of vimiryuvan different by additional electronic colorimeter *29-th International scientific symposium «Metrology and metrology assurance 2019» Proceedings of the symposium September 6--10, 2019, Sozopol, Bulgaria.* Sozopol, 2019. P. 78–82.

12. Єфименко С. А., Хорошайло Ю. Є., Семенов С. Г. Комп’ютерна система вимірювання кольору. *5-я Международная научно-техническая конференція «Информационные системы и технологии» ИСТ 2016*. Коблево-Харьков, 2016. С. 262.

13. S. Efimenko, Y. Khoroshaylo, A. Menyaylo. Estimation of the influence of disturbance on the metrological characteristics of the electronic colorimeter *VI Международная научно-техническая конференция «Метрология, информационно-измерительные технологии и системы» МИИТС-2017*. Харьков, 2017. С. 142–143.

14. Ефименко С. А., Хорошайло Ю. Е. Колориметрические приборы на

основе оптоэлектронных компонентов для измерения цвета отраженных поверхностей. *III Всеукраїнська науково-технічна конференція молодих вчених «Technical Using of Measurement – 2017».* Славське, 2017. С. 55–56.

15. Ефименко С. А., Хорошайло Ю. Е., Сова А. В., Ткачев Н. Н. Электронный колориметр для определения цвета отраженных поверхностей. *Актуальні проблеми автоматики та приладобудування : матеріали II Міжнародної науково-технічної конференції*. Харків, 2018. С. 153.

16. Ефименко С. А., Хорошайло Ю. Е., Меняйло А. Д., Шевченко И. Н. Оптоэлектронный измерительный преобразователь. *Актуальні проблеми автоматики та приладобудування : матеріали II Міжнародної науково-технічної конференції.* Харків, 2018. С. 155.

Праці, які додатково відображають наукові результати дисертації

17. Пат. u2016 11444 Україна, МПК G01J 3/46, G05D 25/00 Цифровий датчик вимірювання проникності оптичних середовищ / Ю. Є. Хорошайло, С. Г. Семенов, В. В. Лимаренко, С. А. Єфименко ; заявник і патентовласник Харківський національний університет радіоелектроніки. № 115350 ; заявлено 11.11.2016 ; опубл. 10.04.2017, Бюл. № 7 (2017).

18. Пат. u2017 09934 Україна, МПК G01J 3/46 Цифровий портативний пристрій вимірювання кольору / Ю. Є. Хорошайло, С. Г. Семенов, В. В. Лимаренко, С. А. Єфименко, О. Д. Мєняйло ; заявник і патентовласник Харківський національний університет радіоелектроніки. № 123485 ; заявлено 13.10.2017 ; опубл. 26.02.2018, Бюл. № 4 (2018).

19. Пат. u2016 06243 Україна, МПК G01J 3/46, G01R 21/133, G02B 5/20, F21V 9/00 Цифровий пристрій для вимірювання проникності оптичних середовищ / Ю. Є. Хорошайло, С. Г. Семенов, В. В. Лимаренко, С. А. Єфименко ; заявник і патентовласник Харківський національний університет радіоелектроніки. № 123529 ; заявлено 25.10.2017 ; опубл. 26.02.2018, Бюл. № 4 (2018).

20. Пат. u2019 10509 Україна, МПК G01J 3/46, G01R 21/133, G02B 5/20, F21V 9/00 Цифровий пристрій для вимірювання рівномірності покриття оптичних

середовищ / Ю. Є. Хорошайло, С. Г. Семенов, В. В. Лимаренко, О. І. Подгайко, С. А. Єфименко ; заявник і патентовласник Харківський національний університет радіоелектроніки. № 142432 ; заявлено 21.10.2019 ; опубл. 10.06.2020, Бюл. № 11 (2020).

SUMMARY

Efimenko Sergey Andreevich. **Colorimetric method and means for express quality control of cereals.** - Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

The dissertation on competition of a scientific degree of the doctor of philosophy on a specialty 152 "Metrology and information-measuring technics". - Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, 2021.

Annotation content. The dissertation is devoted to the improvement of methods of parametric quality control of grain crops by reducing the random factor influence in determining the measurement result of a single indicator of colorimetric control (yellowness of wheat grain), which is an important scientific and practical task. The second task of the dissertation is to create a means of colorimetric rapid quality control of cereals.

The purpose of the study is to improve the methods and create a technical tool for colorimetric rapid quality control of cereals, increase the accuracy and reliability of the results through the use of methods of statistical analysis of measurement results.

The practical significance of the research results is that:

1. The model of the device for express color control is developed, the algorithm of calculations of color coordinates is offered and received them in digital form, and also in the form of a color fragment on the monitor screen that allows to receive results of measurements of color of investigated environments quickly and with high reliability.

2. In LLC "NVP ALTA" the results of work are used in the selection of settings of RGB-cameras of photoseparators for sorting of various crops (wheat, barley, buckwheat, sunflower, soybean, etc.) (act of 20.12.2019).

3. At the Department of Physics KNURE results are implemented in the educational process, where they are used during lectures, practical and laboratory work on geometric and wave optics in the specialty "publishing and printing" (act of 09.01.2019).

The scientific novelty of the obtained results is that:

- the method of information analysis of the system of indicators of colorimetric quality control of grain crops was further developed, which allowed to form a system of indicators in the conditions of uncertainty of reproduction of the levels of controlled parameters;
- introduced the concept of colorimetric function as a generalizing characteristic of the intensity of radiation of reflected and scattered radiation of the studied objects, the possibility of using the developed analytical methods in the study of optical radiation in both time and frequency domains;
- obtained mathematical models of cross-classifications that take into account the effects of simultaneous interaction of three factors (temperature, humidity, light) on the measurement of a single indicator of colorimetric control (yellowness of wheat grain), defined equations to assess the reliability of statistical conclusions about information significance of colorimetric control;
- proposed analytical relationships that allow to estimate the amount of information for each of the indicators of colorimetric control with a factor influence on the linear transformation function of these indicators.

In the introduction to the dissertation the relevance of the research topic is substantiated, the purpose, tasks, object, subject are formulated, scientific novelty, practical significance of the obtained results is revealed, the personal contribution of the

author is determined, data on approbation and implementation of research results are given. publications on the topic of work.

In the first section of the dissertation "**The current state of methods and means of colorimetry. Choice of research direction**" analyzes the scientific works of domestic and foreign authors on the research problem, which allowed to determine the main directions of scientific research on the problem of improving methods and creating a technical tool for colorimetric rapid quality control of cereals. The importance of using the colorimetric method of express control to assess the quality of wheat grain, the uncertainty of the characteristics of which affects the accuracy of measurement information, and methods of multidimensional statistical analysis to determine how significant the influence of a factor on the scattering of observations.

The second section "**Development and use of mathematical models of linear systems for the construction of color sensors**" describes the methods and tools used in accordance with the purpose and objectives, as well as the object and subject of research. The possibility of application of mathematical models of linear systems for construction of color sensors is considered and the principles of synthesis of devices of automatic classification of color shades are formulated. The possibility of using the concept of colorimetric function in applied research is proved.

The third section "**Development of digital devices for solving optical control problems**" presents the results of the analysis of existing options for the construction of digital sensors and digital devices for solving optical control problems and options for their improvement. The description of the useful models developed by the author which are protected by patents of Ukraine which consider shortcomings of prototypes, and also eliminate them is resulted. An analytical relation is obtained, according to which it is possible to unambiguously determine the degree of permeability of the optical medium in the case of light flux coloring.

The fourth section **"Analysis of the impact of uncertainty of measurement results on the probability of colorimetric control"** presents a rationale and assessment of statistical conclusions about the information value of colorimetric control indicators that affect the control result to ensure the highest probability of the result. An analysis was performed and a simplified model of cross-classifications was proposed, which takes into account the effects of simultaneous interaction of three factors (temperature, humidity, light) on the result of measuring a single indicator of colorimetric control (yellowness of wheat grain); her research was conducted. Restrictions on the number of levels of the main (control parameter) and factors influencing the result of colorimetric control at a given metrological uncertainty of the control parameter are determined. Equations are obtained to assess the reliability of statistical conclusions about the information significance of colorimetric control indicators for a simplified model of cross-classification. Analytical relations are obtained, which allow to estimate the amount of information for each of the indicators of colorimetric control at the factor influence on the linear transformation function of these indicators. The main provisions of discriminant analysis are considered and models for estimating the amount of information on the probabilities of errors of the first and second kind from the control parameter are proposed; the equations allowing to rank indicators on decrease in their sensitivity to change of levels of parameter of colorimetric control are presented.

The fifth section **"Estimation of standard uncertainties of measurement results obtained using an electronic colorimeter"** presents the results of a study of the results of field measurements of output voltage from the circuit diagrams of red, blue and green photodiodes of an electronic colorimeter depending on the brightness of light. by types A and B, as well as the total standard uncertainty. It is shown that the obtained values of uncertainty fully satisfy the conditions of the technical task for the study.

The conclusions showed that one of the methods of parametric quality control of cereals was improved by reducing the random factor influence in determining the measurement result of a single indicator of colorimetric control (yellowness of wheat grain). The proposed method of information analysis allowed to form a system of indicators in the conditions of uncertainty of reproduction of levels of the controlled parameters, and the created means of colorimetric express control of quality of grain crops gives the chance to solve the set tasks effectively.

Keywords: measurement uncertainty, colorimetric control, analysis of variance, impact model, error.