

## НОВЫЕ ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ СИСТЕМЫ ЭКСПРЕСС-АНАЛИЗА СЕМЯН В ЛЕСОХОЗЯЙСТВЕННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

доктор технических наук, профессор **С.В. Соколов**<sup>1</sup>

кандидат технических наук, доцент **А.И. Новиков**<sup>2</sup>

1 – ФГБОУ ВО «Ростовский государственный экономический университет (РИНХ)»,  
г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

2 – ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет имени Г.Ф. Морозова»,  
г. Воронеж, Российская Федерация

В настоящее время в лесном хозяйстве для подготовки семян к посеву или хранению используются сепараторы, разделяющие семена по количественным признакам. Такое разделение может приводить к чрезмерной генетической дифференциации семян. В то же время тенденции современного семеноводства в качестве основного направления сепарации семян определяют неразрушающий контроль их качества. Выбор качественного показателя разделения при этом обусловлен достоверным различием в относительных темпах роста сеянцев различных цветосеменных рас, так как фен окраски хорошо воспроизводим и генетически стоек. В настоящее время выбор цвета семенной кожуры в большинстве исследований проводится органолептическим методом. Такой подход крайне субъективен и нуждается в пересмотре. В связи с этим в статье рассматривается технология разделения семян по спектрометрическим параметрам, в основе которой лежат принципы фотоники. Реализуемость данных принципов воплощена в функциональном проектировании линейки новых оптоэлектронных систем для экспресс-анализа. Конструкции предложенных устройств модульны, мобильны, энергоэффективны, точны, быстры, просты в эксплуатации и экологически безопасны, что позволяет производить с их помощью экспресс-анализ семян с высоким быстродействием и качеством.

**Ключевые слова:** технология, лесные семена, оптоэлектронная система, экспресс-анализатор, волоконно-оптические брэгговские решетки, брэгговские зеркала, дифракционные решетки, оптические разветвители, биофотоника, фен окраски семян

## NEW OPTOELECTRONIC SYSTEMS FOR EXPRESS ANALYSIS OF SEEDS IN FORESTRY PRODUCTION

DSc (Engineering), Professor **S.V. Sokolov**<sup>1</sup>

PhD (Engineering), Associate Professor **A.I. Novikov**<sup>2</sup>

1 – FSBEI HE Rostov State University of Economics, Rostov-on-Don, Russian Federation

2 – FSBEI HE Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov,  
Voronezh, Russian Federation

### Abstract

Currently, forestry uses separators, parting the seeds according to quantitative characteristics during their preparation for sowing or storage. This separation can lead to excessive genetic differentiation of seeds. At the same time, the trends of modern seed production as the main direction of seed separation determine non-destructive quality control. In this case, the choice of a qualitative indicator of separation is due to a significant difference in the relative growth rates of seedlings of various color-seed races, since the color gene is reproducible and genetically stable. Currently, the choice of color of the seed shell (in most studies) is carried out by organoleptic method. This approach is extremely subjective and needs to be revised. In this regard, the article discusses the technology of separation of seeds according to spectrometric parameters, which is based on the principles of photonics. The feasibility of these principles

is embodied in the functional design of the line of new optoelectronic systems for express analysis. The designs of the proposed devices are modular, mobile, energy efficient, accurate, fast, easy to operate and environmentally safe, which enables rapid analysis of seeds with high speed and quality.

**Keywords:** technology, forest seeds, optoelectronic system, express analyzer, fiber-optic Bragg gratings, Bragg mirrors, diffraction gratings, optical splitters, biophotonics, color phenology of seeds

### Введение

В настоящее время в лесном хозяйстве для подготовки семян к посеву или хранению используются решетчатые, пневматические, вакуумные и другие виды сепараторов, разделяющих семена по количественным признакам [3, 7, 15, 16]. Однако в пределах одного вида существует изменчивость размеров семян из-за экологических факторов, влияющих на развитие семян, и нормальной генетической вариативности. Поскольку отклонения в размерах и форме семян – это генетическое разнообразие, классификация семян по количественным признакам может привести к чрезмерной генетической дифференциации и потере генетического разнообразия внутри каждой из фракций [10]. В связи с этим, одним из эффективных путей повышения посевных качеств семян [2] является их разделение на предпосевном этапе по окраске (спектральным характеристикам защитной оболочки). Это обусловлено тем, что:

- фены окраски семян отличаются хорошей воспроизводимостью оценок (низкой ошибкой идентификации) генетических особенностей деревьев [1];

- окраска семян обуславливается количеством и локализацией фенолсодержащих пигментов в слоях защитной оболочки [20];

- цвет семян индивидуален и наследственно обусловлен [1, 5, 6];

- цвет семян является основополагающим критерием для визуального разделения [3];

- дифференциация интенсивности ростовых процессов у сеянцев из различных цветосеменных рас обеспечивает существенную экономию дорогостоящего репродуктивного материала [4] и т.д.

В настоящее время цветовая классификация семян построена, как правило, на оценке цвета преобладающего пигмента, достоверность выделения которого зависит от индивидуальных особенностей зрительного восприятия исследователя [1].

Очевидно, что такая субъективность качественного разделения существенно снижает его эффективность. Подобное обстоятельство обусловило необходимость создания автоматических анализаторов окраски семян, наиболее характерными из которых являются устройства, описанные в патентах (пат. US №6509537 МПК В07 С5/00, опубл. 21.01.2003; пат. US №6864970, МПК G01N 21/00, опубл. 08.03.2005; пат. US № 2010/0046826, МПК G06T 7/00, опубл. 25.02.2010; пат. РФ № 2521215, МПК В07 С5/34, В07 В13/00, опубл. 27.06.14). Недостатками данных схем являются высокая сложность и трудность технической эксплуатации, обусловленные сложностью и трудностью настройки оптической схемы, необходимостью обеспечения высоких скоростей вращения зеркальной призмы (или зеркала), трудностью настройки устройства считывания и обработки изображения и пр., а также низкое качество анализа семян из-за ограниченной разрешающей способности видеокамеры с линейным видеодатчиком. Кроме того, существующие анализаторы окраски семян невозможно использовать в полевых условиях, ввиду описанных выше недостатков. Это приводит к необходимости разработки анализатора семян, во-первых, обеспечивающего их качественный оперативный анализ, а во-вторых, конструктивно простого (в частности, не имеющего подвижных частей и механизмов), что обеспечит возможность его эффективного использования в полевых условиях.

**Оптоэлектронный экспресс-анализатор семян на волоконно-оптических брэгговских решетках.** Для решения поставленной задачи рассмотрим ниже экспресс-анализатор (ЭА) качества семян, функциональная схема которого представлена на рис. 1.

В основу работы данного ЭА положен принцип разделения семян по их спектральным характеристикам, полученным как в отраженном от

защитной оболочки световом потоке, так и в световом потоке, прошедшем через семя. В работах [9, 11, 12, 14, 17-19] показано, что эффективность анализа качества семян в этом случае резко возрастает в силу того, что:

– воздействие на семена имеет неинвазивный характер;

– на основе анализа спектров, имеющих характерные участки, можно оперативно анализировать семена по жизнеспособности;

– с достаточной точностью можно определять происхождение семян;

– процесс анализа одного семени занимает предельно малое количество времени, сокращая издержки на тестирование семян;

– достижимое качество семян позволяет использовать их при азросеве [8, 13], сокращая издержки и повышая процент выхода сеянцев.

Представленный на рис. 1 экспресс-анализатор качества семян (патент на изобретение RU 2675056, приоритет от 08.02.2018) работает следующим образом:

1. Поступление семян для экспресс-анализа осуществляется по вертикально расположенному прозрачному трубопроводу 3.

2. С выхода источника полихроматического излучения 1 полихроматический световой поток, содержащий набор частот излучений в заданном диапазоне (например, для семян сосны обыкновенной – в диапазоне 650-715 нм), поступает на вход оптического волновода 2, с выхода которого через прозрачную стенку трубопровода 3 поступает на поверхность проходящих семян. Отраженный от поверхности семени световой поток поступает на вход N-выходного оптического разветвителя 4, а световой поток, прошедший через семя, поступает на вход N-выходного оптического разветвителя 5.

3. С выходов оптического разветвителя 4 световые потоки поступают через первые оптические разветвления оптических Y-разветвителей  $6_1, 6_2, \dots, 6_N$  на входы волоконно-оптических брэгговских решеток (ВОБР)  $7_1, 7_2, \dots, 7_N$ , каждая из которых отражает световой поток в своем узком спектральном диапазоне. Отраженные от ВОБР  $7_1, 7_2, \dots, 7_N$  световые потоки с различными длинами

волн поступают на входы соответствующих оптических Y-разветвителей  $8_1, 8_2, \dots, 8_N$ , с выходов вторых разветвлений которых они поступают далее на входы соответствующих фотоприемников  $8_1, 8_2, \dots, 8_N$ . При этом каждый из этих фотоприемников  $8_i, i=1, \dots, N$ , настроен на прием оптического излучения в диапазоне, совпадающем с диапазоном отражения соответствующей ВОБР  $7_i, i=1, \dots, N$ .

4. Аналогично с выходов оптического разветвителя 5 световые потоки поступают через первые оптические разветвления оптических Y-разветвителей  $9_1, 9_2, \dots, 9_N$  на входы ВОБР  $10_1, 10_2, \dots, 10_N$ . Отраженные от ВОБР  $10_1, 10_2, \dots, 10_N$  световые потоки с различными длинами волн поступают на входы соответствующих оптических Y-разветвителей  $9_1, 9_2, \dots, 9_N$ , с выходов вторых разветвлений которых они поступают далее на входы соответствующих фотоприемников  $11_1, 11_2, \dots, 11_N$ . (Аналогично предыдущему каждый из фотоприемников  $11_i$  настроен на прием оптического излучения в диапазоне, совпадающем с диапазоном отражения ВОБР  $7_i$ ).

5. С выходов фотоприемников  $8_1, 8_2, \dots, 8_N, 11_1, 11_2, \dots, 11_N$  электрические сигналы, пропорциональные интенсивностям принятых световых потоков, поступают на  $2N$  входов мультиплексора 12, управление коммутацией (опросом) которого осуществляет микропроцессор 14.

6. С выхода мультиплексора 12 аналоговый сигнал поступает на вход аналого-цифрового преобразователя (АЦП) 13. С выхода АЦП 13 двоичный код поступает на вход микропроцессора 14, который обрабатывает информацию, поступающую от фотоприемников  $8_1, 8_2, \dots, 8_N, 11_1, 11_2, \dots, 11_N$  – спектральные характеристики отраженного от семени и прошедшего через него световых потоков. На основании анализа спектральных характеристик микропроцессор 14 формирует данные анализа качества семян, которые далее поступают на блок отображения данных 15.

Подобная схема анализатора удовлетворяет всем требованиям, предъявленным выше, – компактности, простоты, высокого быстродействия и возможности проведения высококачественного анализа характеристик семян за счет реализации в

микропроцессоре алгоритмов анализа практически любой сложности.

**Модификации оптоэлектронных систем экспресс-анализатора семян.** В рассмотренной выше схеме в качестве функциональных элементов, осуществляющих спектральный анализ характеристик семян, были использованы волоконно-оптические брэгговские решетки. Их преимуществом является узкий спектральный диапазон отражения светового потока (т.е. высокая точность спектрального анализа), недостатком – сравнительно высокая стоимость. При этом в схеме, приведенной на рис. 1, за счет разветвления оптических потоков в  $N$ -выходных оптических разветвителях 4, 5 оптические сигналы, отраженные от семени и прошедшие через него, существенно ослабляются. Это, в свою очередь, приводит к необходимости выбора фотоприемников с высокой чувствительностью, что также удорожает устройство. Данные недостатки могут быть легко устранены заменой ВОБР на брэгговские зеркала, но за счет некоторого увеличения габаритов устройства. Измененная часть оптической системы анализатора в этом случае представлена на рис. 2.

Подключение выходов фотоприемников и остальная часть устройства аналогичны приведенным на рис. 1.

Аналогично работе предыдущего анализатора полихроматический световой поток, содержащий набор частот излучений в заданном диапазоне, от источника полихроматического излучения 1 поступает через прозрачную стенку трубопровода на поверхность проходящих семян. Отраженный от поверхности семени световой поток поступает через фокусирующую линзу 2<sub>1</sub> на вход первого брэгговского зеркала 3<sub>1</sub>. Т. к. каждое брэгговское зеркало отражает световой поток в своем узком спектральном диапазоне, то оставшаяся часть

светового потока, лежащая вне этого диапазона, проходит на выход соответствующего брэгговского зеркала первой группы (и поглощается на выходе брэгговского зеркала 3<sub>N</sub>), а отраженные от брэгговских зеркал 3<sub>1</sub>, 3<sub>2</sub>, ..., 3<sub>N</sub> световые потоки с различными длинами волн поступают на входы соответствующих фотоприемников 4<sub>1</sub>, 4<sub>2</sub>, ..., 4<sub>N</sub>. При этом важно отметить отсутствие ослабления оптического сигнала, вызванного его разветвлением в оптических волноводах подобно схеме на рис. 1.

Прошедший через семя (сквозной) световой поток поступает через вторую фокусирующую линзу 2<sub>2</sub> на вход брэгговского зеркала 5<sub>1</sub>. Часть светового потока, лежащего вне его спектрального диапазона, проходит на его выход и поступает на вход следующего брэгговского зеркала и т.д. (и поглощается на выходе брэгговского зеркала 5<sub>N</sub>). Отраженные от группы брэгговских зеркал 5<sub>1</sub>, 5<sub>2</sub>, ..., 5<sub>N</sub> световые потоки с различными длинами волн поступают на входы соответствующих фотоприемников 6<sub>1</sub>, 6<sub>2</sub>, ..., 6<sub>N</sub>. Далее работа анализатора происходит аналогично работе предыдущей схемы.

Здесь основным недостатком является некоторое увеличение габаритов устройства за счет необходимости последовательного пространственного размещения брэгговских зеркал по обе стороны прозрачного трубопровода. Этого недостатка можно избежать, используя вместо брэгговских зеркал обычные дифракционные решетки (но за счет возможного ухудшения точности спектрального анализа). Для данного случая модификация схемы анализатора представлена на рис. 3.

Как и ранее, подключение выходов фотоприемников и остальная часть устройства аналогичны приведенным на рис. 1.

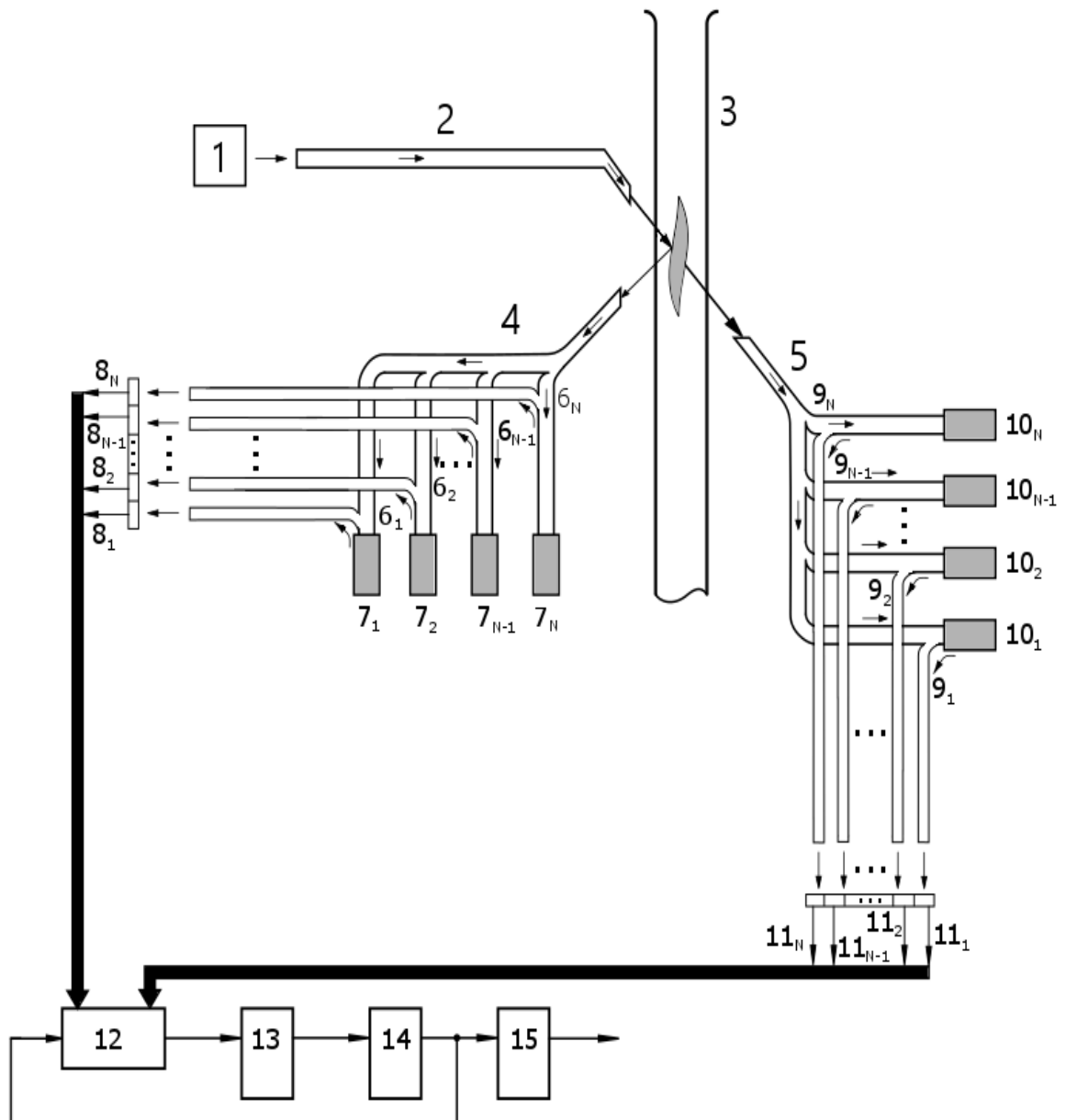


Рис. 1. Экспресс-анализатор качества семян:

- 1 – источник полихроматического излучения,
- 2 – оптический волновод,
- 3 – прозрачный трубопровод,
- 4, 5 – N-выходные оптические разветвители,
- $6_1, 6_2, \dots, 6_N$  – первая группа оптических Y-разветвителей,
- $7_1, 7_2, \dots, 7_N$  – первая группа волоконно-оптических брэгговских решеток,
- $8_1, 8_2, \dots, 8_N$  – первая группа фотоприемников,
- $9_1, 9_2, \dots, 9_N$  – вторая группа оптических Y-разветвителей,
- $10_1, 10_2, \dots, 10_N$  – вторая группа волоконно-оптических брэгговских решеток,
- $11_1, 11_2, \dots, 11_N$  – вторая группа фотоприемников,
- 12 – мультиплексор « $2N \times 1$ »,
- 13 – аналого-цифровой преобразователь,
- 14 – микропроцессор,

15 – блок отображения данных, который может быть выполнен, например, в виде печатающего устройства или дисплея

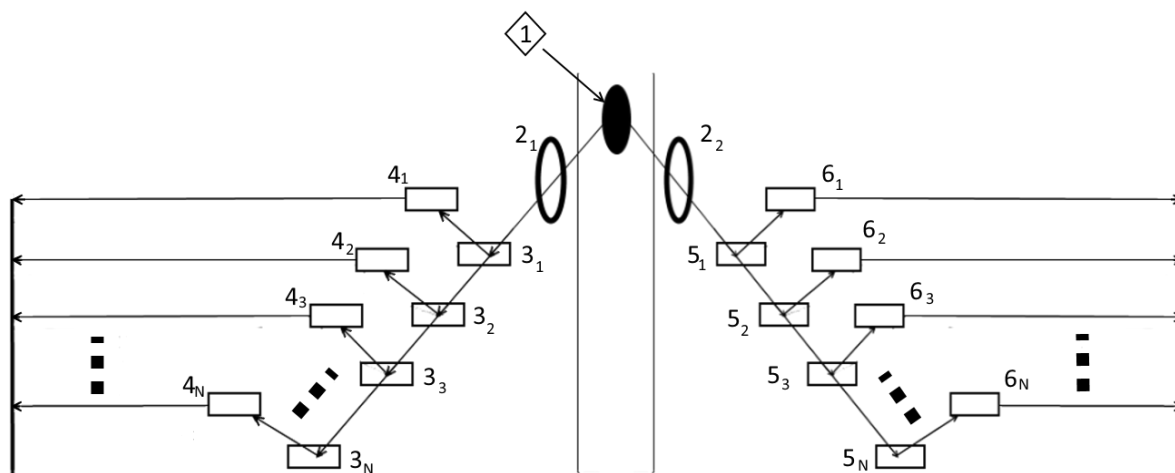


Рис. 2. Оптоэлектронная система анализатора качества семян на брэгговских зеркалах:

- 1 – источник полихроматического излучения,
- $2_1, 2_2$  – фокусирующие линзы,
- $3_1, 3_2, \dots, 3_N$  – первая группа N брэгговских зеркал,
- $4_1, 4_2, \dots, 4_N$  – первая группа N фотоприемников,
- $5_1, 5_2, \dots, 5_N$  – вторая группа N брэгговских зеркал,
- $6_1, 6_2, \dots, 6_N$  – вторая группа N фотоприемников

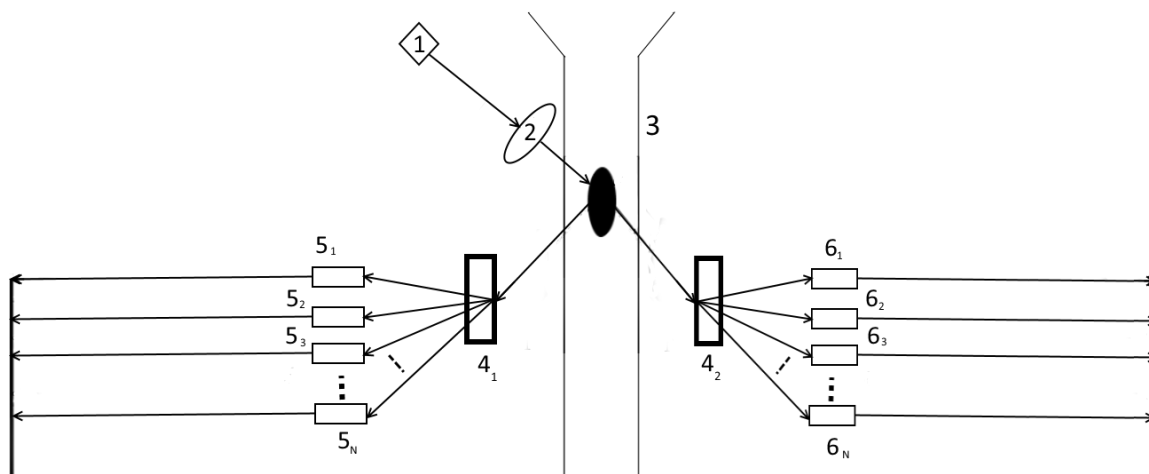


Рис. 3. Оптоэлектронная система анализатора качества семян на дифракционных решетках:

- 1 – источник полихроматического излучения,
- 2 – фокусирующая линза,
- 3 – прозрачный трубопровод,
- $4_1, 4_2$  – дифракционные решетки,
- $5_1, 5_2, \dots, 5_N$  – первая группа N фотоприемников,
- $6_1, 6_2, \dots, 6_N$  – вторая группа N фотоприемников

В данной схеме полихроматический оптический поток поступает на поверхность проходящих семян через фокусирующую линзу 2 и

прозрачную стенку трубопровода 3. Отраженный от поверхности семени оптический поток поступает на вход первой дифракционной решетки 4<sub>1</sub>, а

оптический поток, прошедший через семя, поступает на вход второй дифракционной решетки 4<sub>2</sub>. На выходах дифракционных решеток 4<sub>1</sub>, 4<sub>2</sub> происходит разложение отраженных от поверхности семени и прошедших через него оптических потоков на соответствующие спектральные составляющие с интенсивностями, определяемыми характеристиками семени. Далее с выходов дифракционной решетки 4<sub>1</sub> оптические потоки поступают на входы соответствующих фотоприемников первой группы 5<sub>1</sub>, 5<sub>2</sub>, ..., 5<sub>N</sub>, а с выходов дифракционной решетки 4<sub>2</sub> – на входы фотоприемников второй группы 6<sub>1</sub>, 6<sub>2</sub>, ..., 6<sub>N</sub>. Дальнейшая работа анализатора происходит аналогично описанному выше.

Преимуществами данной схемы являются ее простота, дешевизна и малые габариты,

недостатком – пониженная точность по сравнению с предыдущими вариантами исполнения.

### Заключение

Совместное применение оптической технологии и микропроцессорной техники позволило разработать различные варианты конструктивного исполнения оптического анализатора для лесных семян, во-первых, позволяющего осуществлять качественный оперативный анализ семян, во-вторых, конструктивно простого (в частности, не имеющего подвижных частей и механизмов), и в-третьих, обеспечивающего возможность его эффективного использования в полевых условиях.

### Библиографический список

1. Видякин, А. И. Популяционная структура сосны обыкновенной на востоке Европейской части России : автореф. дис. ... д-ра биол. наук: 03.00.16 / А. И. Видякин. – Екатеринбург, 2004. – 48 с.
2. Некрасова, Т. П. Плодоношение сосны в Западной Сибири / Т. П. Некрасова. – Новосибирск : СО АН СССР, 1960. – 132 с.
3. Новиков, А. И. Дисковые сепараторы семян в лесохозяйственном производстве: моногр. / А. И. Новиков. – Воронеж, 2017. – 159 с.
4. Парамонов, Е. Г. Влияние цветковых рас сосны на рост лесных культур / Е. Г. Парамонов, М. Е. Ананьев // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2011. – Т. 4. – № 78. – С. 40-43.
5. Пименов, А. В. Качественная оценка формового разнообразия сосны обыкновенной в лесоболотных комплексах Западной Сибири / А. В. Пименов, Т. С. Седельникова // Хвойные бореальной зоны. – 2012. – Т. 30. – № 1-2. – С. 157-161.
6. Правдин, Л. Ф. Основные закономерности географической изменчивости сосны обыкновенной (*Pinus silvestris* L.) / Л. Ф. Правдин // Основы лесоведения и лесоводства : докл. на V лесн. конгрессе. – М., 1960. – С. 245-250.
7. Свиридов, Л. Т. Перспективные технические средства для обработки семян хвойных пород / Л. Т. Свиридов, А. И. Новиков, Н. Д. Гомзяков // Лесное хозяйство. – 2007. – Т. 2. – С. 44-46.
8. Соколов, С. В. Тенденции развития операционной технологии аэросева беспилотными летательными аппаратами лесовосстановительном производстве / С. В. Соколов, А. И. Новиков // Лесотехнический журнал. – 2017. – Т. 7. – № 4. – С. 190-205.
9. Single seed Near Infrared Spectroscopy discriminates viable and non-viable seeds of *Juniperus polycarpus* / A. Daneshvar [et al.] // *Silva Fennica*. – 2015. – Vol. 49. – No. 5.
10. Genetic diversity and forest reproductive material – from seed source selection to planting / V. Ivetić [et al.] // *iForest – Biogeosciences and Forestry*. – 2016. – Vol. 9. – No. 5. – P. 801-812.
11. Large-Scale Screening of Intact Tomato Seeds for Viability Using Near Infrared Reflectance Spectroscopy (NIRS) / H. S. Lee [et al.] // *Sustainability*. – 2017. – Vol. 9. – No. 4. – P. 8.

12. Discriminant analysis of Mediterranean pine nuts (*Pinus pinea* L.) from Chilean plantations by near infrared spectroscopy (NIRS) / V. Loewe [et al.] // *Food Control*. – 2017. – Vol. 73. – P. 634-643.
13. Novikov, A. I. Aerial seeding of forests in Russia: A selected literature analysis / A. I. Novikov, B. T. Ersson // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. – 2019. – Vol. 226: 012051. doi: 10.1088/1755-1315/226/1/012051.
14. Phuangsombut, K. Nondestructive classification of mung bean seeds by single kernel near-infrared spectroscopy / K. Phuangsombut, N. Suttiwijitpukdee, A. Terdwongworakul // *Journal of Innovative Optical Health Sciences*. – 2017. – Vol. 10. – No. 3. – P. 9.
15. Simak, M. Removal of filled-dead seeds from a seed bulk / M. Simak // *Sverige Skogsvårdsförbunds Tidskrift*. – 1981. – Vol. 5. – P. 31-36.
16. Stoica, D. Influence the degree of sorting the separation process a conical sieve / D. Stoica, G. Stanciu // *Digest Journal of Nanomaterials and Biostructures*. – 2013. – Vol. 8. – No. 2. – P. 513-518.
17. Tigabu, M. Characterization of forest tree seed quality with near infrared spectroscopy and multivariate analysis: doctoral thesis / M. Tigabu. – Umeå, 2003. – 56 p.
18. Tigabu, M. Discrimination of viable and empty seeds of *Pinus patula* Schiede & Deppe with near-infrared spectroscopy / M. Tigabu, P. C. Odén // *New Forests*. – 2003. – Vol. 25. – No. 3. – P. 163-176.
19. Tigabu, M. Identification of seed sources and parents of *Pinus sylvestris* L. using visible-near infrared reflectance spectra and multivariate analysis / M. Tigabu, P. C. Oden, D. Lindgren // *Trees – Structure and Function*. – 2005. – Vol. 19. – No. 4. – P. 468-476.
20. Tillman-Sutela, E. Effect of incubation temperature on the variation of imbibition in northern pine (*Pinus sylvestris* L.) seeds / E. Tillman-Sutela // *Seed Science and Technology*. – 1997. – Vol. 25. – No. 1. – P. 101-112.

### References

1. Vidyakin A. I. *Populyacionnaya struktura sosny obyknovnoy na vostokey Evropejskoj chasti Rossii: avtoref. diss. ... d-ra biol. nauk* [Population structure of Scots pine in the East of the European part of Russia]. Ekaterinburg, 2004. 48 p. (in Russian).
2. Nekrasova T. P. *Plodonoshenie sosny v Zapadnoj Sibiri* [The fruiting of Scots pine in Western Siberia]. Novosibirsk: USSR Academy of sciences, 1960. 132 p. (in Russian).
3. Novikov A. I. *Diskovye separatory semyan v lesohozyajstvennom proizvodstve* [Disc separators in forest seed production]. Voronezh, 2017. 159 p. (in Russian).
4. Paramonov E. G., Anan'ev M. E. *Vliyanie cvetovyh ras sosny na rost lesnyh kul'tur* [The influence of the colour of the races of the pine trees on the growth of forest crops]. *Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of Altai state agrarian University]. 2011, vol. 4, no. 78, pp. 40-43 (in Russian).
5. Pimenov A. V., Sedel'nikova T. S. *Kachestvennaya ocenka formovogo raznoobraziya sosny obyknovnoy v lesobolotnyh kompleksah Zapadnoj Sibiri* [Qualitative evaluation of a shaped variety of Scotch pine at forest-bog complexes of West Siberia]. *Hvojnye boreal'noj zony* [Conifers of the boreal zone]. 2012, vol. 30, no. 1-2, pp. 157-161 (in Russian).
6. Pravdin L. F. *Osnovnye zakonomernosti geograficheskoj izmenchivosti sosny obyknovnoy (Pinus silvestris L.)* [The main regularities of the geographical variability of Scots pine (*Pinus silvestris* L.)]. *Osnovy lesovedeniya i lesovodstva : dokl. na V lesn. Kongresse* [Fundamentals of forest science and forestry : report on the 5-th forest Congress]. Moscow, 1960. P. 245-250 (in Russian).
7. Sviridov L. T., Novikov A. I., Gomzyakov N. D. *Perspektivnye tekhnicheskie sredstva dlya obrabotki semyan hvojnyh porod* [Promising technical means for processing of seeds of coniferous breeds]. *Lesnoe hozyajstvo* [Forestry]. 2007, no. 2, pp. 44-46 (in Russian).



8. Sokolov S. V., Novikov A. I. *Tendencii razvitiya operacionnoj tekhnologii aehroseva bespilotnymi letatel'nymi apparatami v lesovosstanovitel'nom proizvodstve* [Development tendency of sowing air operating technology by unmanned aerial vehicles in artificial reforestation]. *Lesotekhnicheskij zhurnal* [Forestry Engineering Journal]. 2017, vol. 7, no. 4, pp. 190-205 (in Russian).
9. Daneshvar A. et al. Single seed Near Infrared Spectroscopy discriminates viable and non-viable seeds of *Juniperus polycarpus*. *Silva Fennica*. 2015, vol. 49, no. 5.
10. Ivetić V. et al. Genetic diversity and forest reproductive material – from seed source selection to planting. *iForest - Biogeosciences and Forestry*. 2016, vol. 9, no. 5, pp. 801-812.
11. Lee H. S. et al. Large-Scale Screening of Intact Tomato Seeds for Viability Using Near Infrared Reflectance Spectroscopy (NIRS). *Sustainability*. 2017, vol. 9, no. 4, p. 8.
12. Loewe V. et al. Discriminant analysis of Mediterranean pine nuts (*Pinus pinea* L.) from Chilean plantations by near infrared spectroscopy (NIRS). *Food Control*. 2017, vol. 73, pp. 634-643.
13. Novikov A. I., Ersson B. T. Aerial seeding of forests in Russia: A selected literature analysis. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2019, vol. 226: 012051. doi: 10.1088/1755-1315/226/1/012051.
14. Phuangsoambut K., Suttiwijitpukdee N., Terdwongworakul A. Nondestructive classification of mung bean seeds by single kernel near-infrared spectroscopy. *Journal of Innovative Optical Health Sciences*. 2017, vol. 10, no. 3, p. 9.
15. Simak M. Removal of filled-dead seeds from a seed bulk. *Sverige Skogsvårdsförbunds Tidskrift*. 1981, vol. 5, pp. 31-36.
16. Stoica D., Stanciu G. Influence the degree of sorting the separation process a conical sieve. *Digest Journal of Nanomaterials and Biostructures*. 2013, vol. 8, no. 2, pp. 513-518.
17. Tigabu M. Characterization of forest tree seed quality with near infrared spectroscopy and multivariate analysis: doctoral thesis. Umeå, 2003. 56 p.
18. Tigabu M., Odén P. C. Discrimination of viable and empty seeds of *Pinus patula* Schiede & Deppe with near-infrared spectroscopy. *New Forests*. 2003, vol. 25, no. 3, pp. 163-176.
19. Tigabu M., Oden P. C., Lindgren D. Identification of seed sources and parents of *Pinus sylvestris* L. using visible-near infrared reflectance spectra and multivariate analysis. *Trees-Structure and Function*. 2005, vol. 19, no. 4, pp. 468-476.
20. Tillman-Sutela E. Effect of incubation temperature on the variation of imbibition in northern pine (*Pinus sylvestris* L.) seeds. *Seed Science and Technology*. 1997, vol. 25, no. 1, pp. 101-112.

### Сведения об авторах

*Соколов Сергей Викторович* – профессор кафедры информационных технологий и защиты информации, зав. лабораторией, ФГБОУ ВО «Ростовский государственный экономический университет (РИНХ)», доктор технических наук, профессор, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация; e-mail: s.v.s.888@yandex.ru.

*Новиков Артур Игоревич* – доцент кафедры автомобилей и сервиса, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», кандидат технических наук, доцент, г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: nvatdo@gmail.com.

### Information about authors

*Sokolov Sergey Viktorovich* – Professor of Information Technologies and Information Protection Department, FSBEI HE «Rostov State University of Economics», DSc in Engineering, Professor, Rostov-on-Don, Russian Federation; e-mail: s.v.s.888@yandex.ru.

*Novikov Arthur Igorevitch* – Associate Professor of Car and Service Department, FSBEI HE «Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov», PhD in Engineering, Voronezh, Russian Federation; e-mail: nvatdo@gmail.com.