

УДК 681.785.433, 303.214.2

© Р. Ю. Антонов, 2020

## ВОЗМОЖНОСТИ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ СТЕКЛОВИДНОСТИ ПШЕНИЦЫ МЕТОДОМ АНАЛИЗА ЦИФРОВОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ

Органолептические методы анализа продукции обуславливают высокую погрешность и большую продолжительность таких измерений. Поэтому разработка инструментальных экспресс-методов определения качества продукции — актуальная задача. В работе исследованы возможности программной оценки стекловидности пшеницы. Исследования проводились с использованием диафаноскопа "Янтарь" и диафаноскопа ДСЗ-2. Сравнивались стабильность результатов измерения и время, затраченное на анализ. Для измерения были выбраны образцы мягкой и твердой пшеницы со стекловидностью в диапазоне 12–97 %. Программная оценка стекловидности позволила снизить стандартное отклонение результатов измерений стекловидности с 5.5 до 1.3 %. Среднее время измерения снизилось более чем в 10 раз.

*Кл. сл.:* автоматизация измерений, обработка изображений, пшеница, стекловидность

### ВВЕДЕНИЕ

Определение качества пшеницы в России производится согласно ГОСТ 9353-2016 "Пшеница. Технические условия" [1]. В этом документе указано, какие анализы и измерения необходимо провести для определения основного интегрального показателя качества пшеницы — ее класса. Оценка класса пшеницы занимает продолжительное время, т.к. значительная часть работы производится вручную: определение типового состава, отмывание клейковины, определение стекловидности, оценка поврежденности вредителями и т.д. При этом значительная часть погрешности таких измерений обусловлена необъективностью органолептических методов анализа. С учетом данных фактов разработка оборудования и нормативной базы для инструментальных экспресс-методов определения качества зерна является актуальной задачей.

Один из показателей качества пшеницы, требующих определения согласно ГОСТ 9353-2016, — стекловидность пшеницы. Процедура проведения анализа описана в ГОСТ 10987-76 [2]. Сам метод сводится к визуальной оценке прозрачности зерен, помещенных в диафаноскоп (рис. 1). В процессе проведения анализа 100 зерен размещают в специальной кассете, затем с помощью диафаноскопа просматривают зерна и подсчитывается количество стекловидных (прозрачных), частично стекловидных (полупрозрачных) и мучнистых (непрозрачных) зерен в пробе, после чего вычисляется результат.

В данный момент развитие производства фоточувствительных матриц и распространение персональных компьютеров [3] позволило создать устройство для получения цифрового изображения



Рис. 1. Диафаноскоп ДСЗ-2 с кассетой



Рис. 2. Диафаноскоп "Янтарь" с кассетой и компьютером



Рис. 3. Изображение просвеченного зерна

зерна с последующей программной оценкой его стекловидности (диафаноскоп "Янтарь", рис. 2). Проведение анализа сводится к заполнению кассеты, ее помещению в прибор и получению результата с помощью программного обеспечения.

Известны исследования, направленные на изучение возможностей инструментальной оценки стекловидности зерна с использованием спектроскопии в ближней инфракрасной области [4], с использованием рентгеновского излучения [5], а также методом анализа изображений в видимой области в отраженном свете [6]. Все перечисленные исследования показывают принципиальную возможность применения указанных подходов, но использование оборудования исследовательского класса в задачах рутинного анализа нерационально ввиду сложности и дороговизны. Диафаноскоп "Янтарь" разработан для получения изображений просвеченного зерна в видимой области спектра. Программа обработки изображений основана на методах контурного анализа и использует алгоритмы, описанные в работах [7], [8].

### ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Целью исследования является определение возможностей использования программной оценки стекловидности для проведения рутинных измерений при определении качества зерна пшеницы. В рамках проекта с поставленной целью решаются следующие задачи:

1) разработать и реализовать алгоритм автоматической оценки стекловидности;

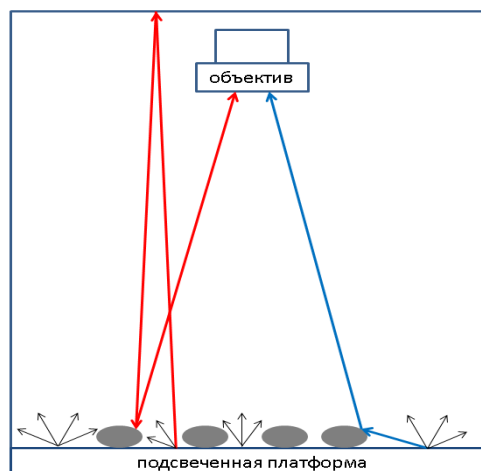


Рис. 4. Действие паразитной засветки.  
1 — общая составляющая,  
2 — местная

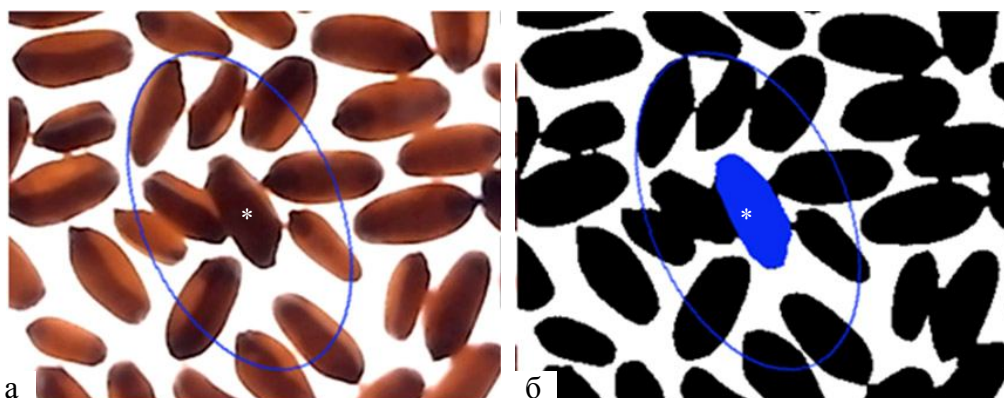
2) сравнить стабильность результатов определения стекловидности стандартным методом и методом программной оценки;

3) сравнить среднее время определения стекловидности стандартным методом и методом программной оценки.

### МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Алгоритм автоматической оценки стекловидности принимает на вход изображение просвеченного зерна (рис. 3) и состоит из нескольких шагов. На первом шаге производится бинаризация и сегментирование изображения, в ходе которого определяются контуры объектов (отдельных зерен).

На втором шаге производится компенсация паразитной засветки. Дело в том, что подсвеченная платформа прибора не может быть заполнена зерном полностью ввиду его формы. Между зернами неизбежно появляются промежутки, размер, форма и положение которых носят случайный характер. Через эти промежутки свет проникает в верхнюю часть прибора и, отражаясь от поверхности зерна, искажает его изображение. Т.е. в объектив камеры попадает не только свет, прошедший сквозь зерно, но и свет, отраженный от его поверхности. Действие паразитной засветки проиллюстрировано на рис. 4. Условно паразитную засветку можно разделить на две составляющие: общую (действует одинаково на все зерна и пропорциональна общей площади подсвеченной платформы, не занятой зерном) и местную (пропорциональна площади, не занятой зерном, в непосредственной близости от него).



**Рис. 5.** Область вокруг зерна (ограничена эллипсом), использующаяся для компенсации местной паразитной засветки зерна (анализируемое зерно отмечено \*). а — исходное изображение, б — бинарное изображение, применяемое в расчетах

Для компенсации паразитной засветки яркость каждого пикселя объекта пересчитывается по формуле:

$$P' = P - S_0 k_0 - S_j k_1,$$

где  $P$  — изначальное значение яркости пикселя;  $S_0$  — доля всей площади платформы, свободная от зерна;  $S_j$  — доля площади, свободной от зерна вблизи  $j$ -го зерна;  $k_0, k_1$  — постоянные коэффициенты.

$S_0$  вычисляется следующим образом:

$$S_0 = \frac{C_w}{C_0},$$

где  $C_w$  — общее количество ненулевых пикселей;  $C_0$  — общее количество пикселей.

$S_j$  вычисляется отдельно для каждого зерна. Для расчета используется область вокруг зерна, ограниченная эллипсом (рис. 5).

$$S_j = \frac{C_{jw}}{C_j},$$

где  $C_{jw}$  — количество ненулевых пикселей внутри эллипса;  $C_j$  — площадь эллипса в пикселях.

Коэффициенты  $k_0, k_1$  были вычислены экспериментально. Для этого были получены изображения платформы с разным заполнением зерном и построена линейная модель

\*) Прим. ред.: автор под "ненулевыми пикселями" подразумевает точки изображения (в статье) с уровнем, отличным от "белого" (255).

$$\bar{V} = V + \frac{\sum_{j=1}^M S_j N_j}{N} k_1 + S_0 k_0,$$

где  $\bar{V}$  — среднее значение яркости объектов, вычисленное для всего изображения;  $V$  — среднее значение яркости объектов, при 100 % заполнении платформы;  $N_j$  — площадь  $j$ -го объекта в пикселях;  $N$  — общая площадь всех объектов в пикселях.

На третьем шаге алгоритма оценки производится определение стекловидности каждого зерна и расчет показателя для всей пробы.

Исследование и сравнение результатов измерений на диафаноскопах основаны на методе, описанном в ГОСТ Р ИСО 5725-3-2002 "Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Часть 3. Промежуточные показатели прецизионности стандартного метода измерений" [9]. Согласно [9], основной вклад в изменчивость измерений вносят 4 фактора: время, калибровка, оператор, оборудование. В данном случае исследованы показатели прецизионности с одним изменяющимся фактором (оператор) для разных методов измерения. Для исследования были подготовлены 6 образцов пшеницы: 3 образца мягкой и 3 образца твердой. Образцы зерна были предоставлены ФГБУ "Россельхозцентр". Заявленный диапазон стекловидности образцов мягкой пшеницы составил 12–79 %, твердой — 73–97 %. Данные образцы измерялись с использованием программной оценки стекловидности на откалиброванном диафаноскопе "Янтарь" и стандартным методом на диафаноскопе ДСЗ-2. В ходе анализа на диафаноскопе "Янтарь" оценивается приблизительно

400 зерен, на диафаноскопе ДСЗ-2 — 100 зерен. Измерения на диафаноскопе ДСЗ-2 проводили 5 разных специалистов на одном приборе. У специалистов перед измерением не было информации о результатах других участников и о заявленных значениях стекловидности образцов. Измерения на диафаноскопе "Янтарь" проводись по 5 раз для каждого образца разными специалистами. Количество  $t$  проб зерна и участвующих специалистов  $n$  выбрано в соответствии с рекомендациями [9]:  $(n - 1)t > 15$ . В ходе эксперимента фиксировалось время, затраченное на испытание, и результаты.

Время, затраченное на испытание,

включает в себя заполнение кассеты и ее освобождение от пробы.

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ОБСУЖДЕНИЕ

Полученные данные измерений для программной оценки стекловидности на диафаноскопе "Янтарь" представлены в табл. 1, для оценки с использованием ДСЗ-2 — в табл. 2.

Далее, следуя рекомендациям [9], результаты измерения каждого из 6 образцов были проверены на наличие выбросов с помощью критерия Граббса [5].

**Табл. 1.** Результаты измерения стекловидности на диафаноскопе "Янтарь"

Образец, №	Стекловидность, %					Среднее значение, %	СКО, %
	исп. 1	исп. 2	исп. 3	исп. 4	исп. 5		
1	77	80	78	78	80	78.6	1.3
2	15	14	11	12	15	13.4	1.8
3	44	44	46	45	48	45.4	1.7
4	96	97	96	98	97	96.8	0.8
5	72	74	72	73	74	73	1.0
6	84	83	83	82	84	83.2	0.8

**Табл. 2.** Результаты измерения стекловидности на диафаноскопе ДСЗ-2

Образец, №	Стекловидность, %					Среднее значение, %	СКО, %
	исп. 1	исп. 2	исп. 3	исп. 4	исп. 5		
1	83	60*	81	79	78	80.3	2.2
2	23	37	11	13	24	21.6	10.4
3	47	61	52	48	56	52.8	5.8
4	97	93	96	97	100	96.6	2.5
5	80	78	74	73	81	77.2	3.6
6	93	90	88	86	96	90.6	4.0

**Табл. 3.** Статистики Граббса для измерений стекловидности на диафаноскопе "Янтарь"

Образец, №	$G_1$	$G_5$	$G_{крит.1}$	$G_{1,2}$	$G_{4,5}$	$G_{крит.2}$
1	1.193	1.043	1.715	0.123	0.031	0.009
2	1.321	0.881		0.017	0.118	
3	0.837	1.554		0.139	0.02	
4	0.956	1.434		0.079	0.079	
5	1	1		0.056	0.056	
6	0.73	1.095		0.079	0.079	

**Табл. 4.** Статистики Граббса для измерений стекловидности на ДСЗ-2

Образец, №	$G_1$	$G_5$	$G_{\text{крит.1}}$	$G_{1,2}$	$G_{4,5}$	$G_{\text{крит.2}}$
1	1.75	0.735	1.715	—	—	0.009
2	1.021	1.483		0.094	0.064	
3	0.999	1.413		0.101	0.035	
4	1.434	1.355		0.079	0.115	
5	1.179	1.067		0.031	0.092	
6	1.157	1.359		0.095	0.042	

Статистики Граббса приведены в табл. 3 и 4. Согласно [10], в случае если  $G_1 > G_{\text{крит.1}}$ , наименьшее значение выборки является выбросом; если  $G_5 > G_{\text{крит.1}}$ , наибольшее значение выборки является выбросом; если  $G_{1,2} < G_{\text{крит.2}}$ , два наименьших значения выборки являются выбросами; если  $G_{4,5} < G_{\text{крит.2}}$ , два наибольших значения выборки являются выбросами. С использованием данного критерия из дальнейшего анализа было исключено одно измерение первого образца на диафаноскопе ДСЗ-2 (помечено \* в табл. 2).

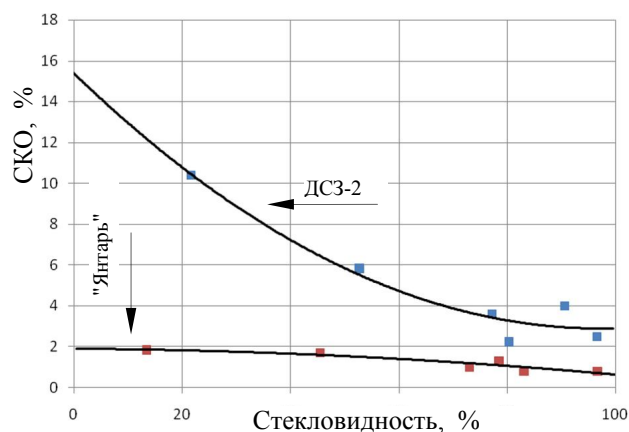
Согласно [9], оценка стандартного отклонения промежуточной прецизионности при изменяющемся факторе (операторе)  $S_{I(0)}$  измерений выражается в виде

$$S_{I(0)} = \sqrt{\frac{1}{t(n-1)} \sum_{j=1}^t \sum_{k=1}^n (y_{jk} - \bar{y}_j)^2}, \quad (1)$$

где  $n$  — количество измерений одного образца;  $t$  — количество образцов;  $y_{jk}$  —  $k$ -й результат измерения  $j$ -го образца;  $\bar{y}_j$  — среднее значение  $j$ -го образца.

Таким образом,  $S_{I(0)} = 1.3$  для оценки с использованием диафаноскопа "Янтарь" и  $S_{I(0)} = 5.5$  для органолептической оценки с использованием ДСЗ-2.

Следует отметить общие закономерности измерений: при увеличении стекловидности пробы увеличивается стабильность результатов, стабильность результатов для твердой пшеницы (образцы 4–6) выше, чем для мягкой (образцы 1–3), причем оба утверждения справедливы как для программной оценки, так и для стандартного метода. Данный факт проиллюстрирован на рис. 6. Полученное снижение стандартного отклонения при использовании программной оценки стекловидности объясняется, во-первых, объективной, не зависящей от человека оценкой показателя, во-вторых, увеличением пробы со 100 до приблизительно 400

**Рис. 6.** Стандартные отклонения повторяемости как функция стекловидности

зерен. Кроме того, среднее время измерения одной пробы с использованием автоматической оценки (Приложение, табл. П1) оказалось меньше на порядок времени стандартного анализа (табл. П2).

## ВЫВОДЫ

1. Стабильность автоматического определения стекловидности значительно выше стабильности стандартного метода. Это позволяет рекомендовать метод для рутинного анализа показателя на предприятиях зерновой промышленности и избежать погрешности, связанной с субъективным мнением специалиста.

2. Низкие затраты времени автоматического определения стекловидности позволяют оптимизировать процесс анализа пшеницы.

3. Полученные результаты доказывают применимость использованных алгоритмических решений в области автоматического анализа продукции.

## ПРИЛОЖЕНИЕ

Табл. П1. Время измерения стекловидности на диафаноскопе "Янтарь"

Образец, №	Время, с					Среднее значение, с
	исп. 1	исп. 2	исп. 3	исп. 4	исп. 5	
1	27	35	24	29	33	29.6
2	30	24	23	25	31	26.6
3	25	20	28	32	22	25.4
4	20	22	24	21	29	23.2
5	27	22	24	34	28	27
6	26	29	21	23	25	24.8
Среднее значение по всем образцам, с						25.8

Табл. П2. Время измерения стекловидности на диафаноскопе ДСЗ-2

Номер образца	Время определения, с					Среднее значение, с
	исп. 1	исп. 2	исп. 3	исп. 4	исп. 5	
1	552	280	281	326	304	348.6
2	603	291	254	372	357	375.4
3	580	311	302	362	341	379.2
4	556	263	290	311	282	340.4
5	629	267	247	398	266	361.4
6	518	318	273	361	293	352.6
Среднее значение по всем образцам, с						359.6

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- ГОСТ 9353-2016. Пшеница. Технические условия. Стандартиформ, 2016.
- ГОСТ 10987-76. Зерно. Методы определения стекловидности. М.: Изд-во стандартов, 1976. 5 с.
- Штейнберг Т.С., Морозова О.В., Семикина Л.И., Амануни А.Л. Метод анализа цифрового изображения зерна для оценки его качества // Хранение и переработка сельхозсырья. 2014. № 310. С. 47–51.
- Dowell F. E. Differentiating vitreous and non-vitreous durum wheat kernels by using near-infrared spectroscopy // Cereal Chem. 2000. Vol. 77, is. 2. P. 155–158. DOI: 10.1094/ССHEM.2000.77.2.155
- Neethirajan S., Karunakaran C., Symons S., Jayas D.S. Classification of vitreousness in durum wheat using soft X-rays and transmitted light images // Computers and electronics in agriculture. 2006. Vol. 53, is. 1. P. 71–78. DOI: 10.1016/j.compag.2006.03.001
- Wang N., Dowell F., Zhang N. Determining wheat vitreousness using image processing and a neural network. ASAE meeting paper No. 026089. St. Joseph, Mich, 2002. 25 p. URL.: [https://www.ars.usda.gov/ARUserFiles/30200525/308A\\_SAE-vitreousness.pdf](https://www.ars.usda.gov/ARUserFiles/30200525/308A_SAE-vitreousness.pdf)
- Fitzgibbon A., Fisher R.B. A buyer's guide to conic fitting // British Machine Vision Conference, 1995. P. 513–522. DOI: 10.5244/C.9.51
- Suzuki S., Abe K. Topological structural analysis of digitized binary images by border following // CVGIP. 1985. Vol. 30, is. 1. P. 32–46. DOI: 10.1016/0734-189X(85)90016-7
- ГОСТ Р ИСО 5725-3-2002 Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Часть 3. Промежуточные показатели прецизионности стандартного метода измерений. М.: Стандартиформ, 2009.

10. ГОСТ Р ИСО 5725-2-2002 Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Часть 2. Основной метод определения повторяемости и воспроизводимости. М.: Стандартинформ, 2009.

Контакты: Антонов Роман Юрьевич,  
roman.ekan@yandex.ru

ООО "Экан", Санкт-Петербург

Материал поступил в редакцию 13.05.2020

## POSSIBILITIES OF AUTOMATIC WHEAT VITREOUSNESS DETERMINATION BY DIGITAL IMAGE ANALYSIS

**R. Yu. Antonov**

*Ekan Ltd, Saint Petersburg*

Organoleptic methods for the analysis of products lead to a high error and a long duration of such measurements. Therefore, the development of instrumental express methods for determining the quality of products is a relevant task. The paper explores the possibilities of a program evaluating the wheat vitreousness. The studies were made using Yantar and DSZ-2 diaphanoscopes. The stability of the measurement results and the time spent on analysis were compared. We selected samples of soft and durum wheat with vitreousness in the range of 12–97% for the measurement. The program evaluating wheat vitreousness made it possible to reduce the standard deviation of the vitreousness measurements from 5.5% to 1.3%. The average measurement time has decreased by more than 10 times.

*Keywords:* measurement automation, image processing, wheat, vitreousness

### INTRODUCTION

Wheat quality in Russia is determined according to GOST 9353-2016 "Wheat. Specification" [1]. This document indicates what analyses and measurements need to be carried out to determine the main integral indicator of wheat quality - its class. The evaluation of the wheat class takes a long time, since a significant part of the work is done manually: determination of the standard composition, elimination of gluten, determination of vitreous steel, assessment of damage by pests, etc. At the same time, a significant part of the error of such measurements is due to the bias of organoleptic methods of analysis. Taking into account these facts, the development of equipment and the regulatory framework for instrumental express methods for determining grain quality is a relevant source.

One of the indicators of quality of wheat, which have been determined in accordance with GOST 9353-2016, is the vitreous nature of wheat. The analysis procedure is described in GOST 10987-76 [2]. The method itself is reduced to a visual assessment of the transparency of the grains placed in the diaphanos-

cope (Fig. 1). During the analysis, 100 grains are placed in a special cassette, then, using a diaphanoscope, the grains are viewed and the number of vitreous (transparent), partially vitreous (translucent) and powdery (opaque) grains in the sample is calculated, after which the result is calculated.



Fig. 1. Diaphanoscope DSZ-2 with a cartridge



**Fig. 2.** Diaphanoscope "Yantar" with a cartridge and a computer

At the moment, the development of the production of photosensitive matrices and the distribution of personal computers [3] made it possible to create a device for obtaining digital images grain followed by programmatic assessment of its vitreality (diaphanoscope "Yantar", Fig. 2). The analysis is limited to filling the cassette, placing it in the instrument and obtaining a result using software.

There are known studies aimed at studying possibilities of instrumental estimation of grain vitreality using near-infrared spectroscopy [4], using X-rays [5], and image analysis in visible area in reflected light [6]. All these studies show the fundamental possibility of applying these approaches, but the use of research class equipment in routine analysis tasks is unsustainable due to the complexity and high cost. Diaphanoscope "Amber" is designed to obtain images of transmitted grain in the visible region of the spectrum. The image processing program is based on contour analysis methods and uses algorithms described in works [7], [8].

#### PURPOSE AND OBJECTIVES OF THE STUDY

The aim of the study is to determine the possibilities of using a program glassy assessment to make routine measurements in determining the quality of wheat grains. The objectives of the project are:

- 1) develop and implement an algorithm for automatic glassy estimation;
- 2) compare the stability of the vitreous results by the standard method and by the software evaluation method;
- 3) compare the mean time to determine stack-gravity by the standard method and the program evaluation method.

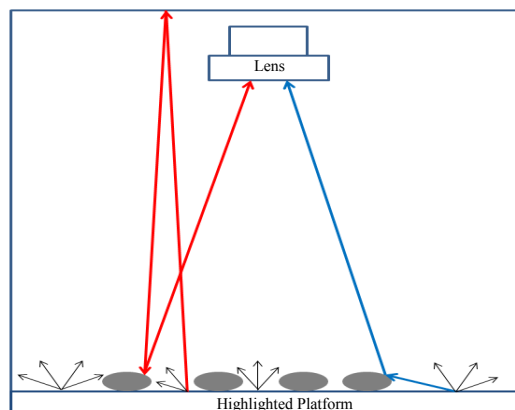
#### RESEARCH METHODOLOGY

The automatic glassy estimation algorithm receives an image of the transmitted grain (Figure 3) and consists of several steps. In the first step, the image is binarized and segmented, during which the outlines of objects (individual grains) are determined.

At the second step, parasitic illumination is compensated. The fact is that the illuminated platform of the device cannot be fully filled with grain due to its shape. Between grains inevitably appear gaps, the size, shape and position of which are random. At these intervals, light penetrates into the upper part of the device and, reflecting from the surface of the grain, distorts its image. I.e. not only light passing through the grain, but also light reflected from its top gets into the camera lens. The action of parasitic illumination is illustrated in Figure 4. Conditionally, parasitic illumination can be divided into two components: general (acts equally on all grains and is proportional to the total area of the illuminated platform not occupied by grain) and local (proportional to the area not occupied by grain, in the immediate vicinity of it).



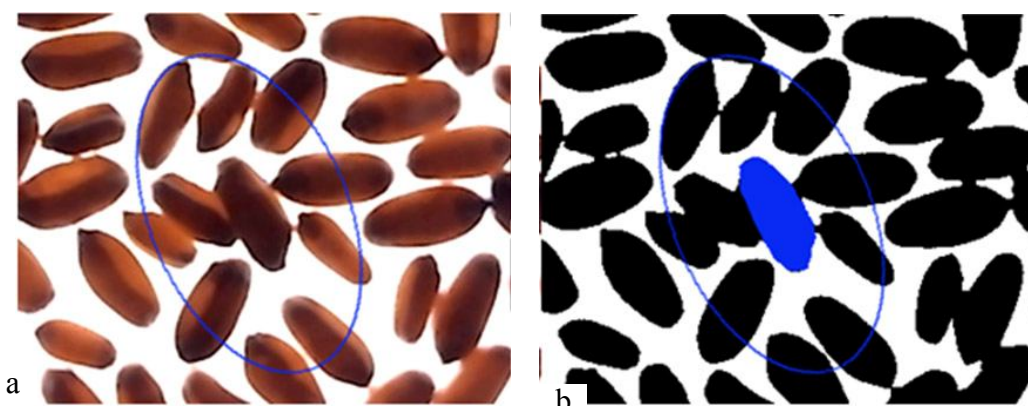
**Fig. 3.** The image of the translucent grain



**Fig. 4.** The effects of ambient illumination.

- 1 — common component,
- 2 — local component





**Fig. 5.** The area around the grain used to compensate for the local ambient illumination of the grain (the analyzed grain is marked \*). On the left is the original image, on the right is the binary image used in the calculations

To compensate for the parasitic illumination, the brightness of each pixel of the object is recalculated by the formula:

$$P' = P - S_0 k_0 - S_j k_1,$$

where  $P$  — is the original pixel brightness value;  $S_0$  — share of the total area of the platform, free of grain;  $S_j$  — is a fraction of the area free of grain near the  $j$ -th grain;  $k_0, k_1$  — are constant coefficients.

$S_0$  is calculated as follows:

$$S_0 = \frac{C_w}{C_0},$$

where  $C_w$  — is the total number of non-zero pixels;\*)  $C_0$  — is the total number of pixels.

$S_j$  is calculated separately for each grain. The calculation uses the area around the grain bounded by the ellipse (Figure 5).

$$S_j = \frac{C_{jw}}{C_j},$$

where  $C_{jw}$  — is the number of non-zero pixels inside the ellipse;  $C_j$  — is the area of the ellipse in pixels.

The coefficients  $k_0, k_1$  were calculated experimentally. For this, images of a platform with different grain filling were obtained and a linear model was built

$$\bar{V} = V + \frac{\sum_{j=1}^M S_j N_j}{N} k_1 + S_0 k_0,$$

\*) Comment. ed.: the author, under "non-zero pixels", takes into account the dots of the image (in the article) with a level other than "white" (255).

where  $\bar{V}$  — is the average brightness of the objects calculated for the entire image;  $V$  — is the average brightness of the objects, with 100 % platform fill;  $N_j$  — is the area of the  $j$ -th object in pixels;  $N$  — is the total area of all objects in pixels.

In the third step of the estimation algorithm, the determination of the vitreality of each grain and the calculation of the indicator for the entire sample are carried out.

Research and comparison of measurement results on diaphanoscopes are based on the method described in GOST R ISO 5725-3-2002 "Accuracy (correctness and precision) of measurement methods and results. Part 3. Intermediate precision indicators of the standard measurement method" [9]. According to [9], the main contribution 4 factors are introduced into the variability of measurements: time, calibration, operator, equipment. In this case, precision indicators were investigated with one changing factor (operator) for different measurement methods. For the study, 6 wheat samples were prepared: 3 soft and 3 solid samples. Grain samples were provided by the Federal State Budgetary Institution "Rosselkhoztsentr." The claimed range of glassy properties of soft wheat samples was 12–79 %, solid — 73–97 %. These samples were measured with use of program assessment of a steklovidnost on the calibrated diafanoskop "Amber" and a standard method on DSZ-2 diafanoskopa. During the analysis on the Amber diaphanoscope, approximately 400 grains are estimated, on the diaphanoscope DSZ-2 — 100 grains. Measurements on a diaphanoscope DSZ-2 were carried out by 5 different specialists on one device. Before measurement, specialists had no information about the results of other participants and about the declared values of vitreous samples. Measurements on the Amber diaphanoscope were carried out 5 times for each sample by different

specialists. The number  $t$  of grain samples and participating specialists  $n$  is selected in accordance with the recommendations [9]:  $(n - 1)t > 15$ . During the experiment, the time spent on the test and the results were recorded. Time spent on the test, includes filling the cassette and releasing it from the sample.

### RESULTS OF RESEARCH AND DISCUSSION

The obtained measurement data for the program assessment of vitreality on the Yantar diaphanoscope are presented in Table 1, for the evaluation using DSZ-2 — in Table 2.

Further, following recommendations [9], the measurement results of each of the 6 samples were checked for emissions using the Grubbs test [5].

The Grubbs statistics are shown in Tables 3 and 4. According to [10], in the case of  $G_1 > G_{krit.1}$ , the smallest sample value is the emission; if  $G_5 > G_{krit.1}$ , the largest sample value is emission; if  $G_{1,2} < G_{krit.2}$ , the two smallest sample values are emissions; if  $G_{4,5} < G_{krit.2}$ , the two largest sample values are emissions. Using this criterion, one measurement of the first sample on diaphanoscope DSZ-2 was excluded from further analysis (marked \* in Table 2).

**Table 1.** Vitreousness measurement results at the Yantar diaphanoscope

Sample, no.	Vitreousness, %					Average value, %	STD, %
	measur. 1	measur. 2	measur. 3	measur. 4	measur. 5		
1	77	80	78	78	80	78.6	1.3
2	15	14	11	12	15	13.4	1.8
3	44	44	46	45	48	45.4	1.7
4	96	97	96	98	97	96.8	0.8
5	72	74	72	73	74	73	1.0
6	84	83	83	82	84	83.2	0.8

**Table 2.** Vitreousness measurement results at the DSZ-2 diaphanoscope

Sample, no.	Vitreousness, %					Average value, %	STD, %
	measur. 1	measur. 2	measur. 3	measur. 4	measur. 5		
1	83	60*	81	79	78	80.3	2.2
2	23	37	11	13	24	21.6	10.4
3	47	61	52	48	56	52.8	5.8
4	97	93	96	97	100	96.6	2.5
5	80	78	74	73	81	77.2	3.6
6	93	90	88	86	96	90.6	4.0

**Table 3.** Grubbs statistics for vitreousness measurements on the Yantar diaphanoscope

Sample, no.	$G_1$	$G_5$	$G_{krit.1}$	$G_{1,2}$	$G_{4,5}$	$G_{krit.2}$
1	1.193	1.043	1.715	0.123	0.031	0.009
2	1.321	0.881		0.017	0.118	
3	0.837	1.554		0.139	0.02	
4	0.956	1.434		0.079	0.079	
5	1	1		0.056	0.056	
6	0.73	1.095		0.079	0.079	

**Table 4.** Grubbs statistics for vitreousness measurements on the DSZ-2 diaphanoscope

Sample, no.	G <sub>1</sub>	G <sub>5</sub>	G <sub>krit.1</sub>	G <sub>1,2</sub>	G <sub>4,5</sub>	G <sub>krit.2</sub>
1	1.75	0.735	1.715	—	—	0.009
2	1.021	1.483		0.094	0.064	
3	0.999	1.413		0.101	0.035	
4	1.434	1.355		0.079	0.115	
5	1.179	1.067		0.031	0.092	
6	1.157	1.359		0.095	0.042	

According to [9], the estimate of the standard devi-

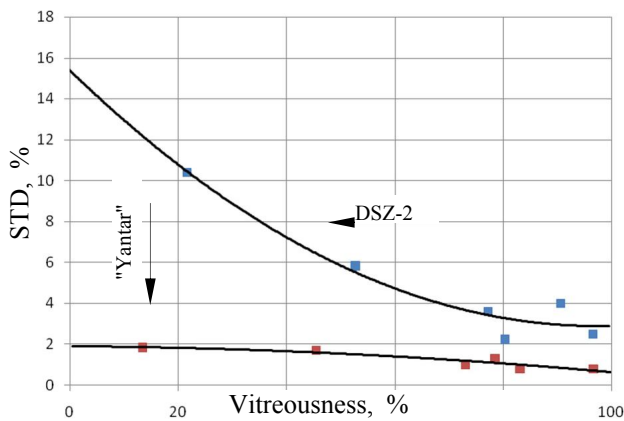


Fig. 6. Repeatability standard deviations as vitreousness function

ation of intermediate precision with a changing measurement factor (operator)  $S_{I(0)}$  is expressed as

$$S_{I(0)} = \sqrt{\frac{1}{t(n-1)} \sum_{j=1}^t \sum_{k=1}^n (y_{jk} - \bar{y}_j)^2},$$

where  $n$  — is the number of measurements of one sample;  $t$  — is the number of samples;  $y_{jk}$  — the  $k$ -th measurement result of the  $j$ -th sample;  $\bar{y}_j$  — the average value of the  $j$ -th sample.

Thus,  $S_{I(0)} = 1.3$  for evaluation using the Amber diaphanoscope and  $S_{I(0)} = 5.5$  for organoleptic evaluation using DSZ-2.

It should be noted the general patterns of measurements: with an increase in the vitreous nature of the sample, the stability of the results for hard wheat (samples 4–6) increases higher than for soft wheat (samples 1–3), both statements being valid for both the program assessment and the standard method. This fact is illustrated in Figure 6. The resulting decrease in standard deviation in the use of the program glassy stance assessment is explained, firstly, by an objective, non-human-dependent assessment of the indicator, and secondly, by an increase in the sample from 100 to about 400 grains. In addition, the average measurement time of one sample using automatic evaluation (Appendix, Table II1) was less by the order of time of the standard analysis (Table II2).

### CONCLUSIONS

1. The stability of automatic vitreous determination is significantly higher than that of the standard method. This allows you to recommend a method for routine analysis of the indicator at grain enterprises and avoid the error associated with the subjective opinion of the specialist.
2. The low time required for automatic vitreous determination optimizes the wheat analysis process.
3. The obtained results prove the applicability of the used algorithmic solutions in the field of automatic product analysis.

### APPLICATION

**Table III.** Vitreous measurement time on the Yantar diaphanoscope

Sample, no.	Time, s					Average value, s
	measur. 1	measur. 2	measur. 3	measur. 4	measur. 5	
1	27	35	24	29	33	29.6
2	30	24	23	25	31	26.6
3	25	20	28	32	22	25.4
4	20	22	24	21	29	23.2
5	27	22	24	34	28	27
6	26	29	21	23	25	24.8
Average value for all samples, s						25.8

**Table II2.** Vitreous measurement time on diaphanoscope DSZ-2

Sample, no.	Determination time, s					Average value, s
	measur. 1	measur. 2	measur. 3	measur. 4	measur. 5	
1	552	280	281	326	304	348.6
2	603	291	254	372	357	375.4
3	580	311	302	362	341	379.2
4	556	263	290	311	282	340.4
5	629	267	247	398	266	361.4
6	518	318	273	361	293	352.6
Average value for all samples, s						359.6

## REFERENCES

1. *GOST 9353-2016. Wheat. Specifications.* Moscow, Standartinform Publ., 2019. (In Russ.).
2. *GOST 10987-76. Grain. Methods for determination of vitreousness.* Moscow, Standards Publ., 1976. 5 p. (In Russ.).
3. Steinberg T.S., Morozova O.V., Semikina L.I., Amatu-ni A.L. [A method of analyzing a digital image of grain to its quality determination]. *Hranenie i pererabotka selhoz-syrya* [Storage and processing of agricultural materials], 2014, no. 310, pp. 47–51. (In Russ.).
4. Dowell F.E. Differentiating vitreous and non-vitreous durum wheat kernels by using near-infrared spectroscopy. *Cereal Chem.*, 2000, vol. 77, is. 2, pp. 155–158. DOI: 10.1094/CCHEM.2000.77.2.155
5. Neethirajan S., Karunakaran C., Symons S., Jayas D.S. Classification of vitreousness in durum wheat using soft X-rays and transmitted light images. *Computers and electronics in agriculture*, 2006, vol. 53, is. 1, pp. 71–78. DOI: 10.1016/j.compag.2006.03.001
6. Wang N., Dowell F., Zhang N. Determining wheat vitreousness using image processing and a neural network. ASAE meeting paper No. 026089. St. Joseph, Mich, 2002. 25 p. URL.: [https://www.ars.usda.gov/ARUserFiles/30200525/308A\\_SAE-vitreousness.pdf](https://www.ars.usda.gov/ARUserFiles/30200525/308A_SAE-vitreousness.pdf)
7. Fitzgibbon A., Fisher R.B. A buyer's guide to conic fitting // *British Machine Vision Conference*, 1995. P. 513–522. DOI: 10.5244/C.9.51
8. Suzuki S., Abe K. Topological structural analysis of digitized binary images by border following // *CVGIP*. 1985. Vol. 30, is. 1. P. 32–46. DOI: 10.1016/0734-189X(85)90016-7
9. *GOST R ISO 5725-3-2002. Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results. Part 3. Intermediate measures of the precision of a standard measurement method.* Moscow, Standartinform Publ., 2009. (In Russ.).
10. *GOST R ISO 5725-2-2002. Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results. Part 2. Basic method for the determination of repeatability and reproducibility of a standard measurement method.* Moscow, Standartinform Publ., 2009. (In Russ.).

Article received by the editorial office on 13.05.2020

Contacts: Antonov Roman Yurievitch,  
roman.ekan@yandex.ru