



УДК 634.7:621:53.08

НОВЫЙ ПРИНЦИП ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ ДЛЯ ПЛОДОВ, ЧЕРЕНКОВ И САЖЕНЦЕВ

А.Ф. АЛЕЙНИКОВ^{1, 2}, доктор технических наук, главный научный сотрудник,

В.В. МИНЕЕВ¹, старший научный сотрудник,

О.В. ЕЛКИН¹, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник

¹Сибирский физико-технический институт аграрных проблем СФНЦА РАН

630501, Россия, Новосибирская область, пос. Краснообск

²Новосибирский государственный технический университет

630073, Россия, Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20

e-mail: fti2009@yandex.ru

Показаны недостатки существующих средств геометрических измерений параметров поперечного сечения плодов, штамбов саженцев и укорененных черенков садовых культур в процессах промышленного садоводства. Приведены результаты анализа методов и средств измерений параметров поперечных сечений подобных объектов в мировой практике. Предложены алгоритмы определения геометрических параметров поперечного сечения штамба саженца и черенков при сканировании датчиком расстояний их контуров. На примере эллипса произведена оценка методических погрешностей при замене реальной сложной конфигурации поперечного сечения суммой простых геометрических фигур. Предложенные алгоритмы определения геометрических параметров поперечного сечения штамба саженца при сканировании датчиком расстояний контура поперечного сечения штамба саженца позволили создать бесконтактное средство измерений с низкой погрешностью и достаточно высоким быстродействием. Установлены следующие основные метрологические характеристики: пределы систематической составляющей основной относительной погрешности измерения геометрических параметров поперечного сечения штамба $\pm 0,5$ %; предел среднеквадратического отклонения случайной составляющей основной относительной погрешности измерения геометрических параметров поперечного сечения штамба 0,06 %. Время одного цикла измерения комплекса геометрических параметров поперечного сечения составило 2 с.

Ключевые слова: плод, штамб саженца, поперечное сечение, размеры, площадь, длина контура, индекс формы, измерение.

При выполнении селекционных, научно-исследовательских и агротехнических работ в процессе промышленного возделывания садовых культур широкое распространение для оценки качества и пригодности садовых культур к промышленным технологиям производства получили измерения геометрических (размерных) величин [1–4]. К ним относят поперечное сечение ягод и штамбов посадочного материала (диаметр, площадь, длина контура, индекс формы – отношение максимального и минимального

диаметров). Однако общепринятые, разработанные ведущими отечественными научными учреждениями методики ориентированы в основном на измерения диаметра и индекса формы малопроизводительными измерительными приборами общего назначения – линейками, штангенциркулями и микрометрами, в некоторых случаях при больших объемах партий саженцев допускают оценку органолептическим методом [5, 6]. Наличие измерительного усилия (0,1–1 Н) в приборах вызывает деформацию

тканей ягод и посадочного материала и, следовательно, результаты измерений оказываются заниженными (на 1 мм и более). При контакте измерительных плоскостей микрометров с поверхностью штамбов посадочного материала контролируемых садовых культур, форма которых не является цилиндрической, точки контакта не лежат на контуре контролируемого сечения. Это приводит к завышенным результатам измерений и, как следствие, увеличению вероятности отнесения саженцев высшего сорта к низшему и наоборот – саженцев низшего сорта к высшему. Еще одной проблемой является необходимость выполнения большого количества измерений при оценке качества посадочного материала. Объемы выборок из партии могут исчисляться сотнями, что при использовании механических приборов – физически утомительная процедура из-за необходимости многократного перемещения губок микрометрическим винтом и считывания результата измерения с нониусной шкалы, что ведет к увеличению продолжительности одного измерения до 30 с и более.

Анализ зарубежных источников показал, что измерения плодов и посадочного материала: площади поперечного сечения штамба винограда [7], комплекса геометрических параметров клубней картофеля, моркови, лука и яблок [8–10], формы ягод земляники для автоматической сортировки и упаковки [11] – выполняют в основном бесконтактными оптическими приборами.

Анализ методов и средств измерений геометрических параметров поперечных сечений тел в других областях науки и техники также выявил тенденцию к преимущественному использованию оптических приборов. В работе [12] описан отражательный лазерный сканер, позволяющий измерять изменения формы и площади поперечного сечения биологических образцов в процессе их растяжения или сжатия. Способ, основанный на методе структурного освещения [13], используется для контроля поперечного сечения контактных проводов электросети электропоездов, трамваев, троллейбусов [14].

Данные оптические приборы имеют сложную конструкцию и высокую стоимость. Наибольшего внимания заслуживает прием, заключающийся в определении координат точек на поверхности объекта измерения путем определения расстояний до этих точек относительно какой-либо базы (точки, плоскости) [15–17]. Например, при реализации этого приема требуется выполнение измерений до контрольных точек на контуре поперечного сечения тела от двух базовых точек и соответственно применения двух датчиков расстояний, что усложняет и удорожает устройство [15]. Более практичны технические решения, изложенные в работах [16, 17] и использующие один датчик расстояния за счет операции поворота контролируемого объекта вокруг оси вращения. Однако в названных способах не проводятся алгоритмы определения параметров поперечного сечения по известным координатам точек на контуре сечения. В качестве датчика расстояния могут использоваться современные оптические теневые [18] и лазерные триангуляционные датчики [19], однако теневые датчики применимы только для объектов, имеющих выпуклую форму.

Цель работы – выбрать и обосновать алгоритмы определения размеров, индекса формы, площади и длины контура поперечного сечения поворачивающихся вокруг своей продольной оси плодов и штамбов саженцев садовых культур по данным измерений расстояний до их поверхности лазерным триангуляционным датчиком и экспериментально подтвердить возможность реализации нового принципа измерений.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для выбора и обоснования алгоритмов определения геометрических параметров поперечного сечения вращающихся тел по данным измерений расстояний до их поверхности использовали математический аппарат аналитической геометрии. Схема получения исходных данных показана на рисунке.

Последовательно поворачивая контролируемое сечение I вокруг точки O на заданные равные углы $\Delta\varphi_n$, размеры которых

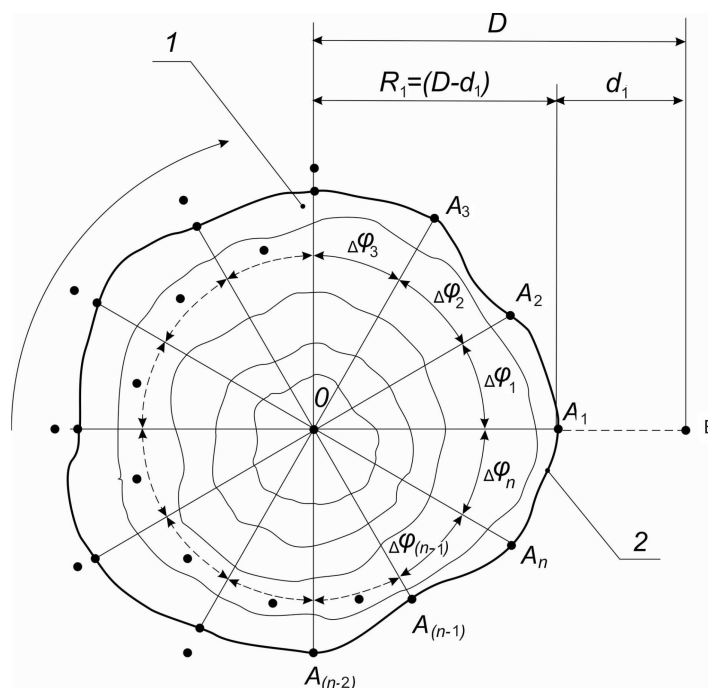


Схема получения исходных данных для выбора и обоснования алгоритмов определения геометрических параметров поперечного сечения штамба:

1 – поперечное сечение штамба саженца; 2 – контур поперечного сечения штамба саженца; A_1-A_n – контрольные точки; Б – базовая точка датчика расстояний; О – точка пересечения оси вращения с плоскостью поперечного сечения штамба саженца; d_1-d_n – расстояния до контрольных точек A_1-A_n , измеренные датчиком; D – фиксированная дистанция от базовой точки датчика расстояний Б до оси вращения поперечного сечения штамба саженца; $\Delta\varphi_1-\Delta\varphi_n$ – угловые интервалы дискретного поворота поперечного сечения штамба саженца

выбирали так, чтобы частное от деления числа 360 (угол при повороте на один оборот в градусах) на $\Delta\varphi_n$ (в градусах) было целым числом N . Получали N измеренных значений расстояний d_n от базовой точки Б до контрольных точек A_n и N вычисленных длин лучей R_n , где n – порядковый номер контрольной точки от 1 до N .

Полученные значения длин лучей R_1-R_n и известное значение углового интервала $\Delta\varphi_n$ достаточны для определения полярных координат контрольных точек A_1-A_n и, следовательно, площади, длины контура, размеров и индекса формы поперечного сечения.

Для определения площади S поперечного сечения сложной формы рассматривали следующие варианты его аппроксимации более простыми геометрическими фигурами, площади которых могут быть вычислены по известным формулам аналитической геометрии:

1) суммой N площадей S_1-S_n секторов круга, радиусы которых равны соответственно средним арифметическим значениям длин двух соседних лучей R_n и R_{n+1} , а центральные углы равны $\Delta\varphi$;

2) суммой N площадей S_1-S_n секторов круга, радиусы которых равны соответственно длинам лучей R_1-R_n , а центральные углы равны $\Delta\varphi$;

3) суммой N площадей S_1-S_n равнобедренных треугольников, бедра которых равны соответственно средним арифметическим значениям длин двух соседних лучей R_n и R_{n+1} , а углы между бедрами равны $\Delta\varphi$;

4) суммой N площадей S_1-S_n треугольников, боковые стороны которых равны соответственно длинам двух соседних лучей R_n и R_{n+1} , а углы между боковыми сторонами равны $\Delta\varphi$,

5) площадью круга, определяемой как среднее арифметическое значение N площа-

дей S_1-S_n кругов, радиусы которых равны соответственно длинам лучей R_1-R_n .

Для определения длины контура L поперечного сечения сложной формы рассматривали следующие варианты его аппроксимации более простыми геометрическими фигурами, длины которых могут быть вычислены по известным формулам аналитической геометрии:

1) суммой N длин дуг L_1-L_n секторов круга, радиусы которых равны соответственно средним арифметическим значениям длин двух соседних лучей R_n и R_{n+1} , а центральные углы равны $\Delta\varphi$;

2) суммой N длин дуг L_1-L_n секторов круга, радиусы которых равны соответственно длинам лучей R_1-R_n , а центральные углы равны $\Delta\varphi$;

3) суммой N длин оснований L_1-L_n равнобедренных треугольников, бедра которых равны соответственно средним арифметическим значениям длин двух соседних лучей R_n и R_{n+1} , а углы между бедрами равны $\Delta\varphi$;

4) суммой N длин оснований L_1-L_n треугольников, боковые стороны которых равны соответственно длинам двух соседних лучей R_n и R_{n+1} , а углы между боковыми сторонами равны $\Delta\varphi$;

5) суммой N длин оснований L_1-L_n равнобедренных треугольников, бедра которых равны соответственно длинам лучей R_1-R_n , а углы между бедрами равны $\Delta\varphi$;

6) длиной окружности круга, определяемой как среднее арифметическое значение N длин окружностей L_1-L_n кругов, радиусы которых равны соответственно длинам лучей R_1-R_n .

Для выбора наилучшего варианта аппроксимации по каждому варианту производили расчеты методических погрешностей, возникающих из-за замены реальной площади и длины контура поперечного сечения. Для расчетов использовали программу MathCad. В качестве реальной формы поперечного сечения использовали эллипс с соотношением большой и малой полуосей 5 : 1 и с центром, совпадающим с осью вращения сечения. Действительное значение площади эллипса рассчитывалось по формуле

$$S_{\text{эл}} = \pi ab, \quad (1)$$

где a и b – большая и малая полуоси эллипса соответственно.

Длины лучей R_n рассчитывали по формуле (2), полученной подстановкой прямоугольных координат точки пересечения луча R_n с эллипсом в его уравнение

$$R_n = \frac{ab}{\sqrt{b^2 \cos^2(n-1)\Delta\varphi + a^2 \sin^2(n-1)\Delta\varphi}}, \quad (2)$$

где n – порядковый номер луча (от 1 до N).

Действительное значение длины контура эллипса $L_{\text{эд}}$ рассчитывали по формуле

$$L_{\text{эд}} = \pi[3(a+b) - \sqrt{(3a+b)(a+3b)}]. \quad (3)$$

Методические погрешности определяли путем сравнения действительных значений площади и длины контура эллипса и значений, рассчитанных по вариантам аппроксимации, изложенным выше.

Длины прямых линий между контрольными точками, необходимые для вычисления индекса формы, определяли по теореме Пифагора как гипотенузы прямоугольных треугольников, катеты которых равны расстояниям между проекциями контрольных точек на оси абсцисс и ординат.

Для практической проверки алгоритмов определения геометрических параметров поперечного сечения был разработан экспериментальный образец устройства. Он состоял из микропроцессорного измерительно-вычислительного блока на основе микроконтроллера PIC16F876A; лазерного датчика расстояний LS5-20/15; шагового двигателя PL42H34-D5 с механизмом крепления саженица, установленных на горизонтальной платформе; драйвера управления PLD230 шаговым двигателем и персонального компьютера IBMPC. Все структурные единицы, кроме шагового двигателя, программно-управляемые. Основные технические характеристики лазерного триангуляционного датчика LS5-20/15 производства НПП «Призма» (Россия): диапазон измерений 15 мм; ближняя граница диапазона измерений 20 мм; погрешность измерений не более $\pm 0,02$ мм; частота измерений 1000 Гц; напряжение питания от 12 до 36 В постоянного тока; потребляемая мощность не более 1 Вт; габаритные размеры $84 \times 34 \times 20$ мм.

Таблица 1

Методическая погрешность вычисления площади эллипса

Вариант аппроксимации	1	2	3	4	5
Погрешность аппроксимации, %	Минус 1,91	Минус 0,14	Минус 2,38	Минус 4,91	Минус 2,36

Характеристики погрешности экспериментального образца устройства определяли методами теории вероятностей и математической статистики [20–23]. Для определения характеристик погрешности изготовлены физические модели штамбов садовых культур в виде металлических цилиндров и шестигранников. Действительные значения диаметров физических моделей определяли путем десятикратных измерений цифровым штангенциркулем ШЦЦ-1 повышенной точности (пределы основной абсолютной погрешности $\pm 0,03$ мм) и вычислением среднего значения. Площадь и длину контура физических моделей вычисляли по формулам геометрии. Вычисления осуществляли с помощью программы Excel. Исследования проводили при температуре окружающего воздуха 20 ± 5 °С и относительной влажности воздуха 40 ± 5 %. Параметры климата контролировали следующими средствами измерений: термометром ТМЦЭ-2В № 1599, 2012 г. (диапазон от 0 до + 100 °С, дискретность 0,1 °С, погрешность $\pm 0,5$ °С); гигрометром ИВА-6А № 642, 2009 г. (диапазон от

0 до 98 %, дискретность 0,1 %, погрешность ± 2 %).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты расчетов методической погрешности вычисления площади эллипса для пяти вариантов аппроксимации и значений угловых интервалов $\Delta\varphi_n$, равных 10° и соответственно их числу за один оборот N , равному 36, приведены в табл. 1. Наименьшей методической погрешностью обладают варианты аппроксимации 1 и 2, для которых рассчитаны и приведены в табл. 2 методические погрешности в зависимости от значения углового интервала $\Delta\varphi$.

Результаты расчетов методической погрешности вычисления длины контура эллипса для шести вариантов аппроксимации и значений угловых интервалов $\Delta\varphi_n$, равных 10° и соответственно их числу за один оборот N , равному 36, приведены в табл. 3.

Наименьшей методической погрешностью обладает вариант аппроксимации 4, для которого рассчитаны и приведены в

Таблица 2

**Зависимость методических погрешностей вариантов аппроксимации 1 и 2
площади эллипса от углового интервала $\Delta\varphi$**

Угловой интервал $\Delta\varphi$, град.	1,8	3,6	5,0	10
Число измерений за оборот N	200	100	72	36
Погрешность аппроксимации варианта 1, %	Минус 0,06	Минус 0,32	Минус 0,57	Минус 1,91
Погрешность аппроксимации варианта 2, %	0,01	0,02	0,07	0,14

Таблица 3

Методическая погрешность вычисления длины контура эллипса для шести вариантов аппроксимации

Вариант аппроксимации	1	2	3	4	5	6
Погрешность аппроксимации, %	Минус 42,6	Минус 42,6	Минус 42,6	Минус 1,25	Минус 42,6	Минус 42,6

Таблица 4

Зависимость методической погрешности варианта 4 аппроксимации длины контура эллипса от углового интервала $\Delta\phi$

Угловой интервал $\Delta\phi$, град.	1,8	3,6	5,0	10
Число измерений за оборот N	200	100	72	36
Погрешность аппроксимации варианта 4, %	Минус 0,07	Минус 0,31	Минус 0,54	Минус 1,25

Таблица 5

Данные экспериментальных исследований метрологических характеристик экспериментального образца устройства

Физическая модель	Цилиндр $D = 5,99$ мм $S = 28,2$ мм ² $L = 18,8$ мм	Цилиндр $D = 11,75$ мм $S = 108,4$ мм ² $L = 36,9$ мм	Цилиндр $D = 17,81$ мм $S = 249,1$ мм ² $L = 55,9$ мм
Площадь S , мм ²	28,3	108,4	248,1
Систематическая составляющая основной относительной погрешности S , %	0,37	0,00	-0,41
Среднеквадратическое отклонение случайной составляющей основной относительной погрешности S , %	0,06	0,04	0,03
Длина контура L , мм	18,7	36,9	55,8
Систематическая составляющая основной относительной погрешности L , %	Минус 0,42	Минус 0,09	Минус 0,23
Среднеквадратическое отклонение случайной составляющей основной относительной погрешности L , %	0,03	0,02	0,01

табл. 4 методические погрешности в зависимости от значения углового интервала $\Delta\phi$.

Из табл. 2 и 4 следует, что при угловом интервале $\Delta\phi$, равном 1,8 град., методической погрешностью можно пренебречь и его нужно принять за основу при разработке устройства.

Данные значений площади S и длины контура L поперечного сечения физических моделей диаметром D и характеристик их погрешностей получены путем измерений, разработанным экспериментальным образцом устройства при числе измерений, равном 40 (табл. 5).

ВЫВОДЫ

1. Предложенные алгоритмы определения геометрических параметров поперечного сечения штампа саженца при сканировании датчиком расстояний контура поперечного сечения штампа саженца позволили создать бесконтактное средство измерений с

низкой погрешностью и достаточно высоким действием.

2. Установлены следующие основные метрологические характеристики: пределы систематической составляющей основной относительной погрешности измерения геометрических параметров поперечного сечения штампа $\pm 0,5$ %; предел среднеквадратического отклонения случайной составляющей основной относительной погрешности измерения геометрических параметров поперечного сечения штампа 0,06 %. Время одного цикла измерения комплекса геометрических параметров поперечного сечения составило 2 с.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Пантелеева Е.И.** Облепиха крушиновая. – Барнаул, 2006. – 249 с.
2. **Франчук Е.П.** Товарные качества плодов. – М.: Агропромиздат, 1986. – 269 с.

3. **Алейников А.Ф., Минеев В.В.** Измерение механических свойств ягод облепихи и смородины // Сиб. вестн. с.-х. науки. – 2016. – № 4. – С. 105–111.
4. **Алейников А.Ф., Минеев В.В., Золотарёв В.А., Ёлкин О.В.** Комплекс средств контроля для селекции, сортоизучения и промышленного производства облепихи // Сиб. вестн. с.-х. науки. – 2016. – № 6. – С. 75–81.
5. **Программа** и методика сортоизучения плодовых, ягодных и орехо-плодных культур / под общ. ред. Е.Н. Седова и Т.П. Огольцовой. – Орел: Изд-во ВНИИСПК, 1999. – 608 с.
6. **ГОСТ Р 53135–2008.** Посадочный материал плодовых, ягодных, субтропических, орехоплодных, цитрусовых культур и чая. Технические условия. – М.: Стандартинформ, 2009. – 42 с.
7. **Myburgh P.A., Coetzee F.** Apparatus for non-destructive measurement of grapevine trunk area // S. Afr. J. Plant and Soil. – 2004. – Vol. 21, N 1. – P. 67–69.
8. **Herold B., Truppel I., Jacobs A., Geyer M.** Stosdetektor zum Implantieren in empfindliche Früchte // Landtechnik. – 2005. – Vol. 60, N 4. – P. 208–209.
9. **Moreda G.P., Ortiz-Canavate J., Garcia-Ramos F.J., Ruiz-Altisent M.** Non-destructive technologies for fruit and vegetable size determination – a review // Journal of Food Engineering. – 2009. – Vol. 92, N 2. – P. 119–136.
10. **Moreda G.P., Mucoz M.A., Ruiz-Altisent M., Perdigones A.** Shape determination of horticultural produce using two-dimensional computer vision – a review // J. of Food Engineering. – 2012. – Vol. 108, N 2. – P. 245–261.
11. **Imou K., Kaizu Y., Morita M., Yokoyama S.** Three-Dimensional Shape Measurement of Strawberries by Volume Intersection Method // Transaction of ASABE. – Amer. soc. of agriculture and biol. engineering. – 2006. – Vol. 49, N 2. – P. 449–456.
12. **Vergari C.** A linear laser scanner to measure cross-sectional shape and area of biological specimens during mechanical testing // Trans. ASME. J. Biomech. Engineering. – 2010. – Vol. 132, N 10. – P. 30–36.
13. **Skotheim O., Couweleeris F.** Structured light projection for accurate 3D shape determination // Proc. 12th Intern. Conf. on Experimental Mechanics (ICEM 12). – 2004, Bari, Italy. – McGraw-Hill.
14. **Каликин В.Э., Базин В.С., Верхогляд А.Г.** Автоматизированная оптико-электронная система измерения износа контактного провода // Оптико-информационные измерения и лазерные технологии и системы: сб. изд. трудов КТИ НП СО РАН. – Новосибирск: Гео, 2012. – С. 161–170.
15. **Пат. № 2551264**, МПК G01B 11/08 (Российская Федерация). Способ определения геометрических параметров сечения тела и устройство для его осуществления / В.В. Минеев, В.А. Золотарев, А.Ф. Алейников, В.Б. Морозов. – Заявка № 2013144512/28; заявл. 03.10.2013; опубл. 20.05.2015; Бюл. № 14.
16. **А.с. № 1413413**, МПК G01B 11/03 (СССР). Способ измерения координат точек объекта относительно центра его вращения / В.Ш. Магдеев. – Заявка № 4009448/24-28; заявл. 28.01.1986; опубл. 30.07.1988; Бюл. № 28.
17. **Пат. № 2251382**, МПК A41H 1/02, G01B 9/00 (Российская Федерация). Устройство для бесконтактного снятия проекционных размеров объекта / И.А. Петросова, Е.Б. Коблякова. – Заявка № 2004109562/12; заявл. 31.03.2004; опубл. 10.05.2005; Бюл. № 13.
18. **Weckenmann A., Nalbantic K.** Measurement of conformity and wear of cutting tool inserts // Proc. SPIE. – 2002. – Vol. 4900. – P. 541–547.
19. **Lysenko O.** Triangulyatsionnye datchiki rasstoyaniya // Elektronnye komponenty. – 2005. – № 11. – S. 111–115.
20. **ГОСТ 8.508–84** ГСИ. Метрологические характеристики средств измерений и точностные характеристики средств автоматизации. Общие методы оценки и контроля. – М.: Изд-во стандартов, 1984. – 53 с.
21. **ГОСТ 8.207–76** ГСИ. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений. – М.: Изд-во стандартов, 2001. – 7 с.
22. **МИ 2083–90** ГСИ. Измерения косвенные. Определение результатов измерений и оценивание их погрешностей. – М.: Изд-во стандартов, 1991. – 7 с.
23. **ГОСТ 8.009–84** ГСИ. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений. – М.: Изд-во стандартов, 1986. – 23 с.

REFERENCES

1. **Panteleeva E.I.** Oblepikha krushinovaya. – Barnaul, 2006. – 249 s.
2. **Franchuk E.P.** Tovarnye kachestva plodov. – M.: Agropromizdat, 1986. – 269 s.

3. **Alenikov A.F., Mineev V.V.** Izmerenie mekhanicheskikh svoystv yagod oblepikhi i smorodiny // Sib. vestn. s.-kh. nauki. – 2016. – № 4. – S. 105–111.
4. **Alenikov A.F., Mineev V.V., Zolotarev V.A., Elkin O.V.** Kompleks sredstv kontrolya dlya selektsii, sortoizucheniya i promyshlennogo proizvodstva oblepikhi // Sib. vestn. s.-kh. nauki. – 2016. – № 6. – S. 75–81.
5. **Programma i metodika sortoizucheniya plodovykh, yagodnykh i orekho-plodnykh kul'tur / pod obshch. red. E.N. Sedova i T.P. Ogol'tsovoi.** – Orel: Izd-vo VNIISPK, 1999. – 608 s.
6. **GOST R 53135–2008.** Posadochnyy material plodovykh, yagodnykh, sub-tropicheskikh, orekhoplodnykh, tsitrusovykh kul'tur i chaya. Tekhnicheskie usloviya. – M.: Standartinform, 2009. – 42 s.
7. **Myburgh P.A., Coetzee F.** Apparatus for non-destructive measurement of grapevine trunk area // S. Afr. J. Plant and Soil. – 2004. – Vol. 21, N 1. – P. 67–69.
8. **Herold B., Truppel I., Jacobs A., Geyer M.** Stosdetektor zum Implantieren in empfindliche Fruchte // Landtechnik. – 2005. – Vol. 60, N 4. – P. 208–209.
9. **Moreda G.P., Ortiz-Canavate J., Garcia-Ramos F.J., Ruiz-Altisent M.** Non-destructive technologies for fruit and vegetable size determination – a review // Journal of Food Engineering. – 2009. – Vol. 92, N 2. – P. 119–136.
10. **Moreda G.P., Mucoz M.A., Ruiz-Altisent M., Perdigones A.** Shape determination of horticultural produce using two-dimensional computer vision – a review // J. of Food Engineering. – 2012. – Vol. 108, N 2. – P. 245–261.
11. **Imou K., Kaizu Y., Morita M., Yokoyama S.** Three-Dimensional Shape Measurement of Strawberries by Volume Intersection Method // Transaction of ASABE. – Amer. soc. of agriculture and biol. engineering. – 2006. – Vol. 49, N 2. – P. 449–456.
12. **Vergari C.** A linear laser scanner to measure cross-sectional shape and area of biological specimens during mechanical testing // Trans. ASME. J. Biomech. Engineering. – 2010. – Vol. 132, N 10. – P. 30–36.
13. **Skotheim O., Couweleeris F.** Structured light projection for accurate 3D shape determination // Proc. 12th Intern. Conf. on Experimental Mechanics (ICEM 12). – 2004, Bari, Italy. – McGraw-Hill.
14. **Kalikin V.E., Bazin V.S., Verkhoglyad A.G.** Avtomatizirovannaya optiko-elektronnaya sistema izmereniya iznosa kontaktnogo provoda // Optiko-informatsionnye izmeritel'nye i lazernye tekhnologii i sistemy: sb. izb. trudov KTI NP SO RAN. – Novosibirsk: Geo, 2012. – S. 161–170.
15. **Pat. № 2551264, MPK G01B 11/08 (Rossiiskaya Federatsiya).** Sposob opredeleniya geometricheskikh parametrov secheniya tela i ustroystvo dlya ego osushchestvleniya / V.V. Mineev, V.A. Zolotarev, A.F. Aleinikov, V.B. Morozov. – Zayavka № 2013144512/28; zayavl. 03.10.2013; opubl. 20.05.2015; Byul. № 14.
16. **A.s. № 1413413, MPK G01B 11/03 (SSSR).** Sposob izmereniya koordinat tochek ob'ekta otnositel'no tsentra ego vrashcheniya / V.Sh. Magdeev. – Zayavka № 4009448/24-28; zayavl. 28.01.1986; opubl. 30.07.1988; Byul. № 28.
17. **Pat. RF № 2251382, MPK A41H 1/02, G01B 9/00 (Rossiiskaya Federatsiya).** Ustroystvo dlya beskontaktnogo snyatiya proektsionnykh razmerov ob'ekta / I.A. Petrosova, E. B. Koblyakova. – Zayavka № 2004109562/12; zayavl. 31.03.2004; opubl. 10.05.2005; Byul. № 13.
18. **Weckenmann A., Nalbantic K.** Measurement of conformity and wear of cutting tool inserts // Proc. SPIE. – 2002. – Vol. 4900. – P. 541–547.
19. **Lysenko O.** Triangulyatsionnye datchiki rastoyaniya // Elektronnnye komponenty. – 2005. – № 11. – S. 111–115.
20. **GOST 8.508–84 GSI.** Metrologicheskie kharakteristiki sredstv izmerenii i tochnostnye kharakteristiki sredstv avtomatizatsii. Obshchie metody otsenki i kontrolya. – M.: Izd-vo standartov, 1984. – 53 s.
21. **GOST 8.207–76 GSI.** Pryamye izmereniya s mnogokratnymi nablyudenyami. Metody obrabotki rezul'tatov nablyudeniya. – M.: Izd-vo standartov, 2001. – 7 s.
22. **MI 2083–90 GSI.** Izmereniya kosvennye. Opredelenie rezul'tatov izmerenii i otsenivanie ikh pogreshnostei. – M.: Izd-vo standartov, 1991. – 7 s.
23. **GOST 8.009–84 GSI.** Normiruemye metrologicheskie kharakteristiki sredstv izmerenii. – M.: Izd-vo standartov, 1986. – 23 s.

A NEW PRINCIPLE FOR MEASURING GEOMETRICAL PARAMETERS OF FRUITS, CUTTINGS AND NURSLINGS

A.F. ALEYNIKOV^{1,2}, Doctor of Science in Engineering, Head Researcher,

V.V. MINEYEV¹, Senior Researcher,

O.V. ELKIN¹, Candidate of Science in Engineering, Lead Researcher

¹Siberian Physical-Technical Institute of Agrarian Problems, SFSCA RAS

Krasnoobsk, Novosibirsk Region, 630501, Russia

²Novosibirsk State Technical University

20, Karl Marx Ave, Novosibirsk, 630073, Russia

e-mail: fti2009@yandex.ru

There are shown shortcomings of the existing means for measuring geometrical parameters of transverse cross-sections of fruits, tree-shaped nurslings, and rooted cuttings of horticultural crops in the commercial horticulture processes. Results are given from an analysis of methods and means for measuring parameters of traverse cross-sections of such objects used throughout the world. There are suggested algorithms to determine geometrical parameters of transverse cross-sections of tree-shaped nurslings and cuttings by scanning their contours with a distance sensor. By way of example of an ellipse was carried out an estimation of method errors, while replacing the actual complex configuration of a cross-section by the sum of simple geometrical figures. The suggested algorithms for determining geometrical parameters of the transverse cross-section of a tree-shaped nursling by scanning its contour with a distance sensor make it possible to develop a contact-free measurement means with low inaccuracy and rather high performance. There were set the following metrological characteristics: limits of systematic component of basic relative error of measuring geometrical parameters of the transverse cross-section of a tree-shaped nursling of $\pm 0.5\%$; limit of mean-square deviation of random component of basic relative error of measuring geometrical parameters of the transverse cross-section of a tree-shaped nursling of 0.06% . The measurement cycle time made up 2 s.

Keywords: fruit, tree-shaped nursling, traverse cross-section, dimensions, square, contour length, index of form, measurement.

Поступила в редакцию 31.06.2017